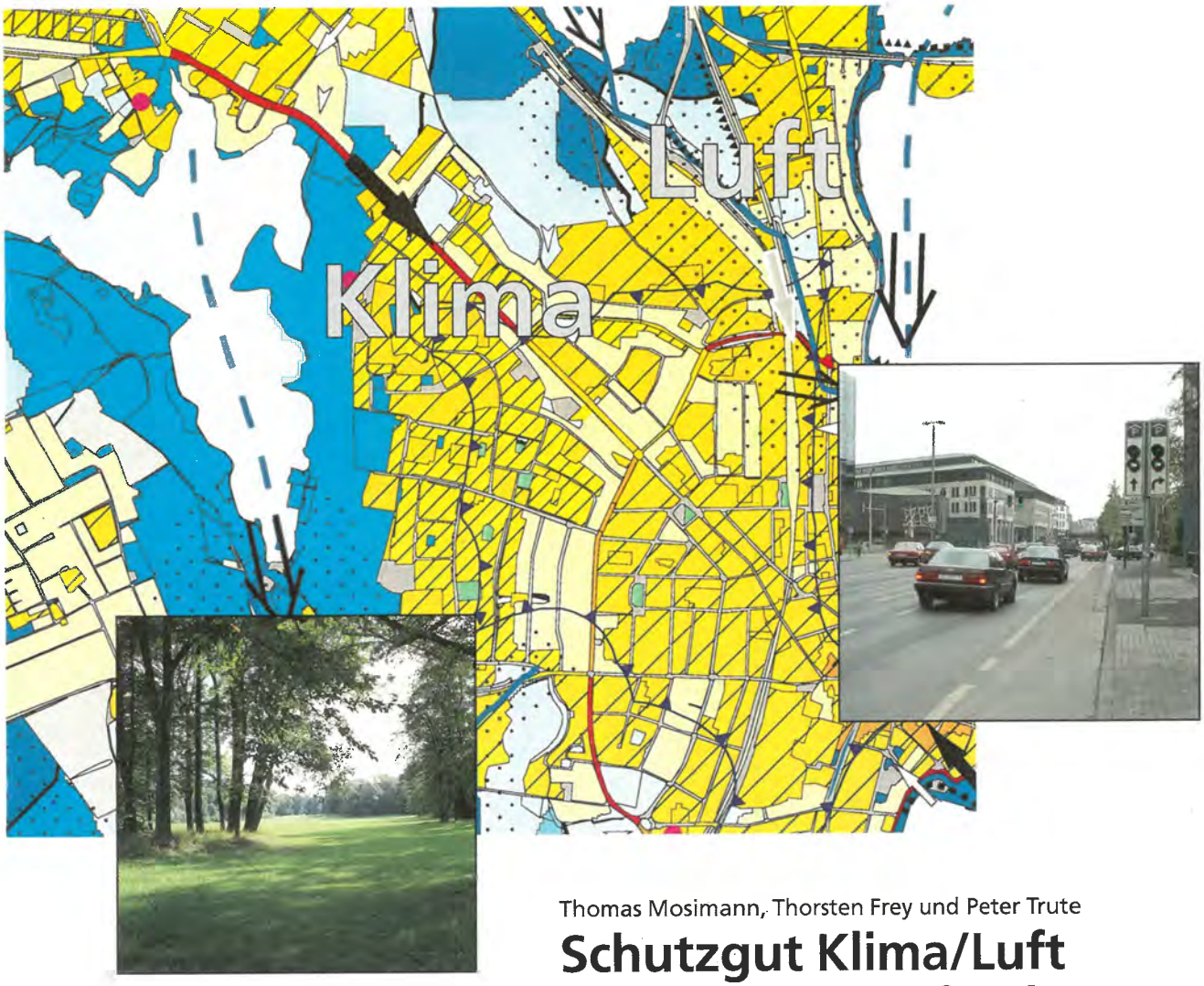
Informationsdienst
Naturschutz
Niedersachsen

4/99

Niedersächsisches
Landesamt für
Ökologie



Thomas Mosimann, Thorsten Frey und Peter Trute

Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung

Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan

Niedersachsen

Inform.d. Naturschutz Niedersachs. 19. Jg. Nr. 4 201 – 276 Hildesheim 1999

Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung

- Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan -

von Thomas Mosimann, Thorsten Frey und Peter Trute

Inhalt

Vorwort 203

Teil A: Allgemeines Vorgehen 203

1 Das Schutzgut Klima/Luft 203
1.1 Was kann die Landschaftsplanung für das Schutzgut Klima/Luft erreichen? 203
1.2 Allgemeine Qualitätsziele für das Schutzgut Klima/Luft 204

2 Makroklimatische und lufthygienische Rahmenbedingungen in Niedersachsen 207
2.1 Allgemeine Charakteristik von Makroklima und Luftqualität 207
2.2 Anteile austauschstarker und austauschschwacher Wetterlagen 209
2.3 Klima- und immissionsökologische Effekte unter dem Aspekt der Planung 210

3 Die klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan 214
3.1 Erläuterung der einzelnen Elemente 214
3.2 Die Karte der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente 215

4 Das allgemeine Vorgehen 217
4.1 Arbeitsablauf für die Bearbeitung des Schutzguts Klima/Luft bei Erstellung der Landschaftsrahmen- und Landschaftspläne (LRP und LP) 217
4.2 Die drei klimaökologischen Regionen in Niedersachsen mit ihren Besonderheiten beim Schutzgut Klima/Luft 217
4.3 Einstieg ins Plangebiet: Bestimmung der für die Bearbeitung relevanten Räume 221

Teil B: Einzelmethoden 225

5 Methoden zur Bearbeitung klima- und immissionsökologischer Fragestellungen in der Landschaftsplanung 225

6 Bestehende Datengrundlagen 227
6.1 Meteorologische Daten 227
6.2 Lufthygienische Daten 230
6.3 Weitere immissionsökologisch relevante Daten 231

7 Eine wichtige Grundlage: Erfassung der räumlichen Strukturen 232
7.1 Erfassung der klima- und immissionsökologisch wirksamen Struktureinheiten 232
7.2 Erfassung der Reliefstruktur 233

8 Eigene Datenbeschaffung durch Messungen 236
8.1 Messfahrten zum Lufttemperaturfeld 236
8.2 Stationäre Messnetze 238
8.3 Traceruntersuchungen 238

9 Abgrenzung von klimaökologischen Komfortinseln 239

10 Erfassung der klimatischen Zustände im Wirkungsraum 241
10.1 Schätzung der strukturabhängigen Überwärmung 241
10.2 Abschätzung der bioklimatischen Situation 242
10.3 Bestimmung von Kaltluftseen und Kaltluftsammelgebieten 242
10.4 Abschätzung der Durchlüftungsverhältnisse 243

11 Ermittlung der lufthygienischen Situation im Plangebiet 247
11.1 Umsetzung vorhandener Lufthygienedaten 247
11.2 Bestimmung von wichtigen Emissionsquellen 247
11.3 Räumlich differenzierte Abschätzung der Immissionssituation 250

12 Kaltluftproduktion bewachsener Flächen 252
12.1 Einstufung der Kaltluftproduktivität nach den klimaökologisch wirksamen Struktureinheiten 252
12.2 Quantitative Abschätzung der Kaltluftproduktivität von Freiflächen 252

13 Erfassung der Luftaustauschprozesse 254
13.1 Ermittlung der Hang- und Talwindströmungen in den relevanten Ausgleichsräumen 254
13.2 Bestimmung von potenziellen Liefergebieten für Flurwinde 255
13.3 Ausweisung von Leitbahnen 256
13.4 Feststellung der Reichweite von Kalt-/Frischluftströmungen 257
13.5 Abschätzung der Hinderniswirkung von Austauschbarrieren 258

14 Ermittlung von Gehölzen mit Immissionsschutzfunktion 261

15 Kartographische Darstellung der Analyse des Schutzguts Klima/Luft 262

16 Literatur 267

17 Anhang 271

18 Glossar 274

Vorwort

Eine aussagekräftige Bearbeitung des Schutzguts Klima/Luft gehört zum Grundbestand einer modernen Landschaftsplanung. Es geht dabei darum, mit beschränktem Aufwand hinreichend genaue, auf die Problemräume konzentrierte und in Pläne umsetzbare Aussagen zu den klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhängen zu erhalten. Daraus sind die Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft nachvollziehbar abzuleiten. Dies kann auf dem heutigen Methodenstand geleistet werden.

Über Zielsetzungen, relevante Räume und klima- und immissionsökologische Prozesse, Methoden und Verknüpfung der Inhalte herrscht jedoch in der Praxis große Unsicherheit. Hier will dieser Leitfaden abhelfen. Er zeigt auf,

- wie in einem Plangebiet die Teilräume gefunden und abgegrenzt werden können, in denen das Schutzgut Klima/Luft relevant ist,
- welches die relevanten Prozesse und Funktionszusammenhänge sind – in Abhängigkeit von naturräumlicher Lage und Belastungssituation,
- welche praxistauglichen Methoden für die verschiedenen Bearbeitungstiefen zur Verfügung stehen, an die jeweilige Problemlage angepasst, und
- wie sich klima- und immissionsökologische Zustände und Prozesse in räumlichen Funktionszusammenhängen betrachten und in Planinhalte umsetzen lassen.

Der Leitfaden gliedert sich in einen konzeptionellen Teil A und einen Teil B mit dem Methodenkatalog. Die Methodensammlung orientiert sich an den Bearbeitungsmöglichkeiten in Planungsbüros. Nummerische und physikalische Modelle sind deshalb nur randlich erwähnt im Zusammenhang mit Hinweisen auf eine vertiefte Bearbeitung, bei besonderen Problemlagen in der Regel durch Beauftragung von spezialisierten Büros. Auch die Verbindungen zwischen Landschaftsplanung, Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) sind bei der Auswahl der Methoden und bei den Querverweisen berücksichtigt.

Der erste Entwurf des vorliegenden Leitfadens wurde bereits 1994 verfasst. Auf dem Weg mehrerer Diskussionsrunden und Abstimmungsgespräche ist die jetzige Fassung entstanden. Nach 1994 erschienene relevante Veröffentlichungen sind ergänzend genannt, jedoch ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Für zahlreiche inhaltliche, methodische und redaktionelle Hinweise möchten sich die Autoren bei Herrn E. Bierhals (NLÖ, Projektbegleitung) und Herrn W. J. Müller (NLÖ) herzlich bedanken. Für Hinweise zur lufthygienischen Situation danken wir Herrn Dr. B. Heits (NLÖ).

TEIL A

1 Das Schutzgut Klima/Luft

1.1 Was kann die Landschaftsplanung für das Schutzgut Klima/Luft erreichen?

Die Ziele

Die sogenannten abiotischen Schutzgüter Klima, Luft, Boden, Wasser erhalten neben den biotischen Schutzgütern (Fauna, Flora, Biotope) und dem Landschaftsbild in der Landschaftsplanung einen immer größeren Stellenwert. Klima- und immissionsökologische Aspekte sollen verstärkt in die Bestandsaufnahme integriert und in Planinhalte umgesetzt werden. Luftverunreinigungen und klimatische Gegebenheiten bestimmen maßgeblich die Lebensbedingungen von Pflanzen, Tieren und Menschen im städtischen wie im ländlichen Raum. Fortschreitende Waldschäden zeigen deutlich, dass die bisherigen gesetzlichen und planerischen Maßnahmen nicht ausreichen, um auch die Schutzgüter Klima und Luft hinreichend vor negativen Einflüssen zu bewahren. Neben einem großräumigen Klimaschutz ist auch die Erhaltung lokaler Klimafunktionen notwendig.

Smogsituationen durch erhöhte Ozonwerte mit ihren direkt spürbaren Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden sensibilisieren auch die Bevölkerung für diese Zusammenhänge. Vor allem die Verschlechterung der Luftqualität, aber auch klimatische Aspekte wie negative Windeffekte (Böigkeit, verringerter Luftaustausch), werden als Beeinträchtigung der Lebensqualität gesehen (STADT MÜNSTER 1992).

Landschaftsplanung soll die erforderlichen Maßnahmen zur Verwirklichung der Ziele und Grundsätze von Naturschutz und Landespflege flächenhaft darstellen. Was soll dabei für die Bereiche Klima und Luft erreicht werden? (Abb. 1):

1. Günstige Verhältnisse, d. h. Klimavielfalt, gute Durchlüftung, geringe Immissionsbelastung usw., müssen gesichert bzw. entwickelt werden.
2. Positive Funktionen wie Frischluftzufuhr, Durchmischung usw. müssen erhalten und verbessert werden.
3. Vorhandene klimatische und lufthygienische Belastungen müssen durch ausgleichende Prozesse gemildert bzw. abgebaut werden.

Defizit vorhanden

In der Planungspraxis werden die Ziele bisher aufgrund inhaltlicher und methodischer Defizite nur unzureichend umgesetzt. Zur Verdeutlichung dieses Zustandes: Der Bearbeitungsumfang für Klima und Luft betrug nach einer Untersuchung von HEBBELMANN (1994) bei den Landschaftsrahmenplänen in Niedersachsen durchschnittlich nur 2,5 % der Gesamtseitenzahl. Bearbeitungen des

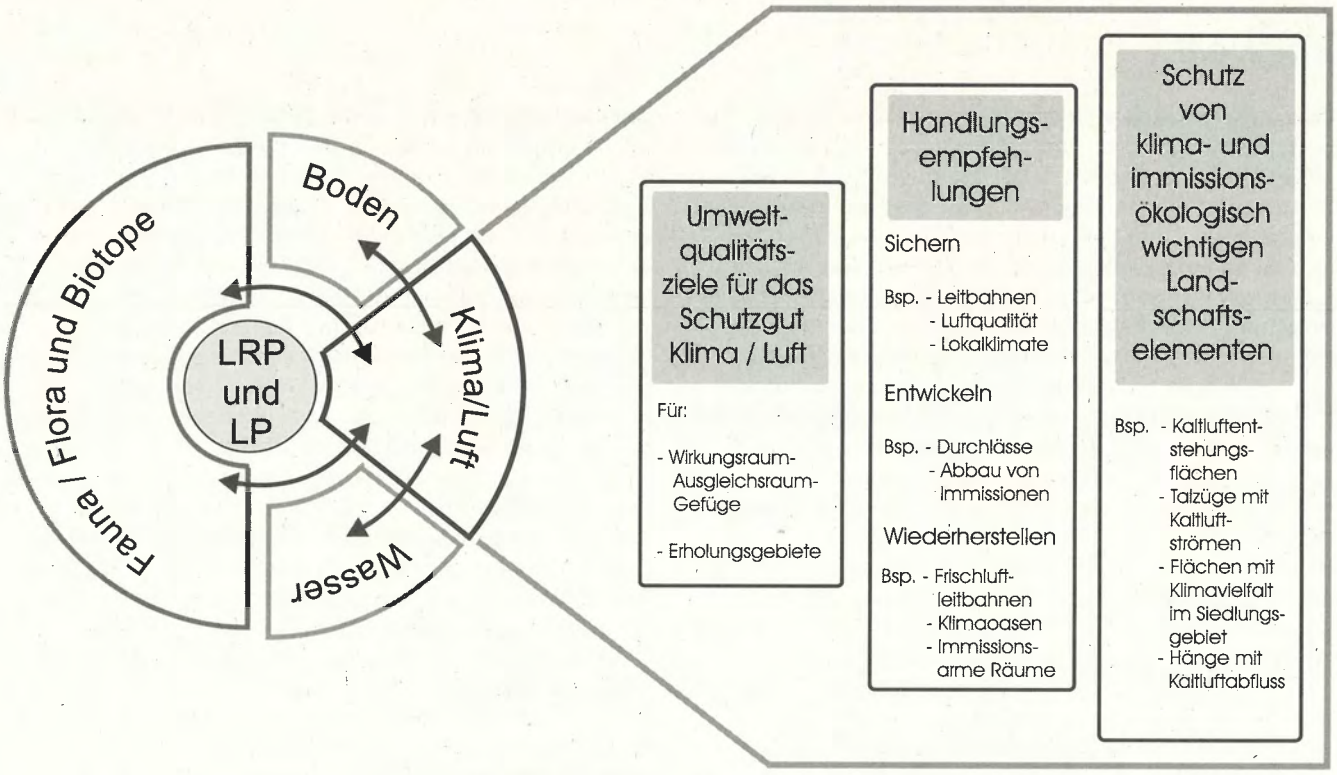


Abb. 1: Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern, die im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan zu bearbeiten sind. Hervorgehoben sind die Möglichkeiten der Landschaftsplanung, klima- und immissionsökologisch wichtige Landschaftselemente zu schützen.

komplexen Themenbereichs gehen bisher über allgemeine Klimabeschreibungen für den Planungsraum oder einzelne Aussagen zu klimatischen und lufthygienischen Phänomenen kaum hinaus (REUTER et al. 1991). In den meisten Gebieten fehlen raumbezogene klima- und immissionsökologische Qualitätsziele, und es gibt kein umsetzbares Gesamtkonzept zur Integration klima- und immissionsökologischer Zusammenhänge in die Bearbeitung eines Landschaftsrahmenplanes bzw. Landschaftsplanes.

Eine konkrete Arbeitshilfe existiert bisher nur für Baden-Württemberg (ZIMMERMANN 1988). Dieser Ansatz lässt sich in der vorliegenden Form in Niedersachsen nicht sinnvoll einsetzen, weil z. B. die auf den regionalen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beruhenden Bewertungsrahmen nicht übertragbar sind.

Rechtliche Grundlage und Instrumente

Die rechtliche Grundlage zur Verankerung klima- und immissionsökologischer Aspekte in der Landschaftsplanung sind das Bundesnaturschutzgesetz und das Niedersächsische Naturschutzgesetz (NNatG), das in §§ 2, Abs. 7 und 8 darauf hinweist, dass

- Luftverunreinigungen ... auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege gering zu halten sind und
- Beeinträchtigungen des Klimas, insbesondere des örtlichen Klimas, zu vermeiden und unvermeidbare Beeinträchtigungen auch durch landespflegerische Maßnahmen auszugleichen oder zu mindern sind.

Insbesondere auf der Ebene des Landschaftsrahmenplans und des Landschaftsplans, deren Aussagen u. a. Grundlage für die Erstellung der Regionalen Raumordnungsprogramme und der Bauleitpläne darstellen, sind planungsrelevante Aussagen zu den Schutzgütern Klima und Luft erforderlich. Damit können wichtige, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernde Strukturelemente – wie zum Beispiel Luftleitbahnen, Kaltluftentstehungsflächen und Komforträume (grüngeprägte Areale im Siedlungsraum, die eine große mikroklimatische Vielfalt aufweisen und lufthygienisch unbelastet sind) – in ihrem Bestand gesichert, vor negativen Einflüssen geschützt, in ihrer Funktionalität verbessert und ggf. auch wiederhergestellt werden (Abb. 1).

1.2 Allgemeine Qualitätsziele für das Schutzgut Klima/Luft

Der Leitgedanke klima- und immissionsökologischer Qualitätsziele lautet: Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen zur Verbesserung bzw. Erhaltung günstiger bioklimatischer Verhältnisse, der Luftqualität und besonderer Lokalklimate.

Die klima- und immissionsökologische Zielsetzung orientiert sich an den Akzeptoren:

1. Pflanzen- und Tierarten und ihre Lebensgemeinschaften. Es geht um eine nachhaltige Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes.
2. Menschen, insbesondere Kinder, Ältere und Kranke. Es geht um die Erhaltung günstiger Lebensbedingungen.

Das übergeordnete Leitziel muss im konkreten Einzelfall in raumspezifische klima- und immissionsökologische Qualitätsziele umgesetzt werden. Tab. 1 stellt wichtige Qualitätsziele dar. Die Gliederung nach Hauptnutzungsräumen orientiert sich an den oben genannten Akzeptoren. Eine weitere räumliche Differenzierung der Ziele erfolgt im Zusammenhang mit den drei klimaökologischen Regionen in Niedersachsen (Kap. 4.2).

Tab. 1: Klima- und immissionsökologische Qualitätsziele für die Landschaftsplanung.
Soweit möglich, werden für die Qualitätsziele Standards und Orientierungswerte angegeben.

Bearbeitungsraum	Allgemeine klimaökologische Qualitätsziele	Klimatische und lufthygienische Standards sowie mögliche Richt- und Referenzwerte (siehe auch Tab. 2)
belastete Siedlungsräume mit dazugehörigem relativ unbelastetem Umland	Verbessern der Luftqualität in Belastungsbereichen	■ Immissionswerte nach TA-Luft (Tab. 2) ■ Leitwerte nach WHO und EG (Tab. 2) ■ Richtwerte nach VDI-Richtlinie (Tab. 2) ■ »Mindeststandards« nach KÜHLING 1986 (Tab. 2) ■ Luftbelastungsindex
	Erhalten und Verbessern der Wirksamkeit von Leitbahnen	■ Mindestanforderungen an klimaökologisch relevante Leitbahnen (Kap. 13.3): – Rauigkeit < 0,5 m – Breite 300 m – Ausrichtung auf Wirkungsraum – keine den Leitbahnquerschnitt abriegelnden Hindernisse
	Sichern wichtiger Kalt- / Frischluftentstehungsgebiete	■ Kriterien für Kalt- / Frischluftentstehungsgebiete und zugehörige Leitbahnen (Kap. 11, 12 und 13.3): z. B. – keine bedeutenden Einzelemittenten (Abstand > 500 m n. MURL 1990) – keine stark befahrenen Straßen (DTV > 10.000 KFZ)
	Sichern und Verbessern der Durchlässigkeit der Eintrittsmöglichkeiten in die Bebauung	■ Kriterium (Kap. 13.5): – Durchlässiger Flächenanteil am Siedlungsrand > 50 %
	Verbessern des Bioklimas an Belastungspunkten	■ Zielgrößen für – PMV-Werte bzw. Wärmebelastung / Kältereiz (Kap. 10.2) – Äquivalenttemperaturwerte (Kap. 10.2)
	Sichern und Entwickeln von Nischen mit günstigen bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen	■ Mindestanforderungen (Kap. 9): – Größe > 1 ha – vielfältige Mikroklimate – Immissionsarmut
Räume für naturbezogene Erholung	Vermeiden von Schadstoffbelastungen und Geruchsbelästigungen	■ Immissionswerte nach TA-Luft (Tab. 2) ■ Leitwerte nach WHO und EG (Tab. 2) ■ Richtwerte nach VDI-Richtlinie (Tab. 2) ■ »Mindeststandards« nach KÜHLING 1986 (Tab. 2) ■ Luftqualitätswerte in Kurorten (DEUTSCHER BÄDERVERBAND e.V. 1991) ■ Luftbelastungsindex
	Sichern und Verbessern von Grünstrukturen mit Immissionsschutzfunktion	
	Sichern und Verbessern des klimatischen Komforts	■ Mögliche Kriterien: – Windgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich des Menschen < 6,5 m/s (SÖCKEL 1984) – Erholungseignungsstufen gemäß DWD (STADT CHEMNITZ 1993)
Bereiche mit besonderen Lokalklimaten	Sichern und Entwickeln der für das besondere Mikroklima erforderlichen Strukturmerkmale und beeinflussenden Prozesse	■ Mögliche Kriterien: – Mindestgrößen für Strukturelemente wie Wasserflächen – Strahlungsgunst von Hängen

Erstes klima- und immissionsökologisches Qualitätsziel ist die Sicherung und Verbesserung der Luftqualität und der Wirksamkeit der Luftaustauschprozesse. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass Belastungen in einem Raum hauptsächlich aus der lufthygienischen Situation resultieren (Kap. 2.1). Bioklimatische Belastungen treten in Norddeutschland im Vergleich zu Süddeutschland relativ selten auf und sind meist auch weniger stark ausgeprägt (JENDRITZKY et al. 1990). Auch in den größeren Städten erreichen die Klimamerkmale, die Hinweise auf das Ausmaß bioklimatischer Belastungen geben, nur etwa 70 bis 85 % der in Süddeutschland üblichen Werte (MOSIMANN et al. 1992b). Deshalb werden diese Phänomene nachrangig behandelt.

Die Umsetzung von Qualitätszielen ist mit Problemen verbunden. Verbindliche Standards zur Bewertung der klima- und immissionsökologischen Verhältnisse existieren nämlich nur für den Lufthygienesektor. Da aber die Luftbelastungen nur selten über den gesetzlichen Grenzwerten liegen, sind diese Standards in Niedersachsen nur wenig geeignet, um eine räumlich differenzierende Bewertung durchzuführen. Ergänzende Standards, wie z. B. die Mindeststandards von KÜHLING (1986) oder aber Relativeinstufungen, müssen daher mit herangezogen werden (vgl. Tab. 2).

Die allgemein fehlenden Normen für den Klima-Komplex erschweren die Formulierung und Umsetzung von Qualitätszielen generell (vgl. KRDL 1993). Es sind somit keine allgemein anerkannten Zielvorgaben möglich. Referenz- und Richtwerte lassen sich nur im Einzelfall vorschlagen (vgl. »Windstress«, Kap. 10.4.1). Diese sind naturgemäß im Einzelfall noch ungenau und müssen weiter abgesichert werden. Nur für das Bioklima bestehen genügend Möglichkeiten einer allgemein akzeptierten Bewertung (siehe auch Entwurf der VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2, 1998). Dies sind z. B. die

Tab. 2: Häufig verwendete Immissions- und Depositionsgrenz- bzw. -richtwerte für den Jahresmittelwert I 1 und 98-Prozentwert I 2 gemäß TA-Luft

Schadstoff (Maßeinheit)	Beurteilungsgröße	TA-LUFT (1986)	MIK-Werte (VDI-Richtlinie 2310) 1974-1987	EG-RICHTLINIE DES RATES 1985 u. 1986		Luftqualitätsstandards (KÜHLING 1986)				DEUTSCHER BÄDERVERBAND e.V. (1991)
				Leitwert	Grenzwert	Wohnen, Freizeit/ Erholung	Kurorte	Landwirtschaftliche Flächen	Wald	
NO_2 (µg/m³)	I 1	80	–	50	–	50	25	–	–	12-80
	I 2	200	–	135	200	140	70	–	–	30-100
CO (mg/m³)	I 1	10	10	–	–	10	5	–	–	–
	I 2	30	–	–	–	14	7	–	–	–
SO_2 (µg/m³)	I 1	140	100	40-80	80-120	50	25	40	25	15-100
	I 2	400	–	100-150	250-350	140	70	175	175	100-200
Ozon (µg/m³)	I 1	–	–	–	–	50	–	–	–	–
Benzol (µg/m³)	I 1	–	–	–	–	1-10	–	–	–	–
Schwebstaub	I 1	150	75	40-60	50	75	40	–	–	15-30
(µg/m³)	I 2	300	–	–	250	150	–	–	–	45-75
Staubniederschlag	I 1	350	–	–	–	–	–	–	–	–
(= SN) (mg/m²d)	I 2	650	–	–	–	–	–	–	–	–
Pb im SN (µg/m²d)	I 1	250	–	–	–	–	–	< 50	–	–
Cd im SN (µg/m²d)	I 1	5	–	–	–	–	–	< 2,5	–	–

PMV-Werte als Beurteilungsgröße für das menschliche Empfinden des thermischen Milieus (FANGER 1972, JENDRITZKY et al. 1979, vgl. Kap. 10.2) und die Äquivalenttemperatur als einfaches, aber immer noch gebräuchliches »Schwülemaß« mit begrenzter Aussagekraft (BRÜNDL et al. 1986). In der Gutachtenpraxis setzen sich die in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 verwendeten komplexeren Bewertungsansätze (PMV, MEMI) durch. Für eine schnelle Ersteinschätzung der bioklimatischen Situation eignen sich aber auch einfache Methoden wie die Berechnung der Äquivalenttemperatur (siehe beispielsweise Nachbarschaftsverband Stuttgart, NVS 1992).

Die Formulierung der klima- und immissionsökologischen Qualitätsziele ist somit kein einfacher Schritt. Letztlich geht es darum, übergeordnete allgemein anerkannte Qualitätsziele im konkreten Raum zu präzisieren, wo die reale Belastungssituation und die jeweiligen Verursacher bekannt sind. Die Festlegung der gebietsspezifischen Werte erfolgt über

- vorhandene Standards (siehe u. a. Tab. 2),
- die festgestellte regionale Grundbelastung (siehe u. a. Kap. 11.3.2, Tab. 16) oder
- die mittlere Belastungssituation im Untersuchungsraum (u. a. Kap. 10.1, Tab. 8).

Die Europäische Union hat 1996 mit der Rahmenrichtlinie »Über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität« begonnen, neue und deutlich verschärfte Beurteilungsmaßstäbe für die Luftgüte aufzustellen. Dies geschieht in den Tochterrichtlinien zu den einzelnen Luftschadstoffen, in denen Grenzwerte definiert werden, die sich an den Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation orientieren. Dazu gehören neben den Grenzwerten für den Schutz der menschlichen Gesundheit auch Grenzwerte für den Schutz von Ökosystemen. Diese sind z. B. mit einem Jahresmittelwert für SO_2 von 20 µg/m³ und für NO_x ($NO_x = NO + NO_2$) von 30 µg/m³ wesentlich schärfer als die bisher vorhandenen Grenz- oder Leitwerte gemäß Tabelle 2.

Die Aufstellung von konkreten Standards wird möglich, indem durchschnittlich oder gering belastete Bereiche als Orientierungspunkt angesehen werden. Solche Vorgaben haben natürlich regionsspezifischen relativen Charakter und lassen sich nicht naturwissenschaftlich belegen. Liegen für den Untersuchungsraum keine Messwerte zum Schutzgut Klima/Luft vor, lassen sich in einer ersten Annäherung Ergebnisse aus vergleichbaren Landschaftsräumen (hinsichtlich Relief und Siedlungsstruktur) heranziehen.

2 Makroklimatische und lufthygienische Rahmenbedingungen in Niedersachsen

2.1 Allgemeine Charakteristik von Makroklima und Luftqualität

Niedersachsen liegt im Bereich der feucht-gemäßigten Westwindzone. Das Wettergeschehen ist dabei überwiegend ozeanisch geprägt (eher milde Winter, verhältnismäßig kühle und feuchte Sommer). Kontinentaler Einfluss macht sich allerdings bei Ostwetterlagen bemerkbar. In diesem Fall strömen trockene, kalte Luftmassen im Winter und warm-trockene Luftmassen im Sommer ein. Generell nimmt die Kontinentalität nach Osten bzw. Südosten hin leicht zu, was sich vor allem in den Niederschlägen bemerkbar macht (Abb. 2). Maßgeblich bestimmen aber die Gliederung des Reliefs und zunehmende Küstenferne die makroklimatischen Verhältnisse in Niedersachsen.

Die Spannweite reicht vom ausgeprägten »Küstenklima« mit hohen Windgeschwindigkeiten (Abb. 3), gedämpftem Temperaturgang (Abb. 4) und erhöhten Niederschlägen, bis zum »Bergklima« des Harzes mit hoher Variabilität der Windgeschwindigkeit, niedrigen Winter- und Sommertemperaturen und den höchsten Niederschlägen. In der Geest und Börde sind im Vergleich zur Küste der Luftaustausch geringer, die Jahresschwankungen der Temperaturen höher und die Niederschläge zum Teil geringer. Kleinräumige orographische Effekte beeinflussen hier bereits das lokale Klima. Dieser Reliefeinfluss verstärkt sich noch im südniedersächsischen Berg- und Hügelland, wodurch eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse stärker in Erscheinung treten als im niedersächsischen Tiefland (Abb. 2 und 3).

In der Planung interessieren in erster Linie die Austauschbedingungen. Diese sind in Niedersachsen allgemein als gut einzustufen. Positiv wirken sich besonders die vorherrschenden Westwindlagen mit allgemein

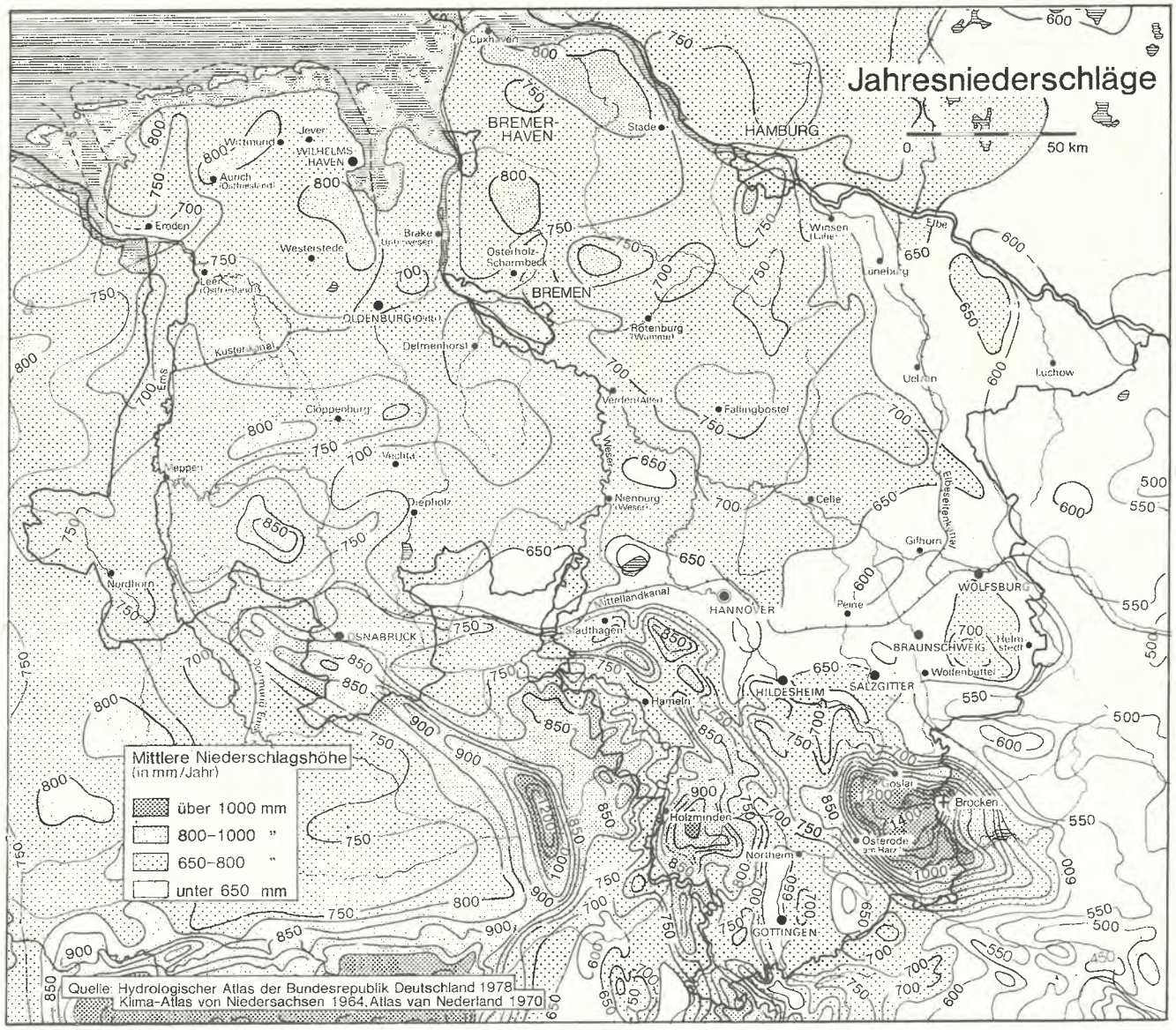


Abb. 2: Durchschnittliche jährliche Niederschlagssummen (in mm/Jahr), Messzeitraum 1931 -1960
(aus: SEEDORF & MEYER 1992: 225; Abdruck mit frdl. Genehmigung des Wachholtz Verlags, Neumünster).

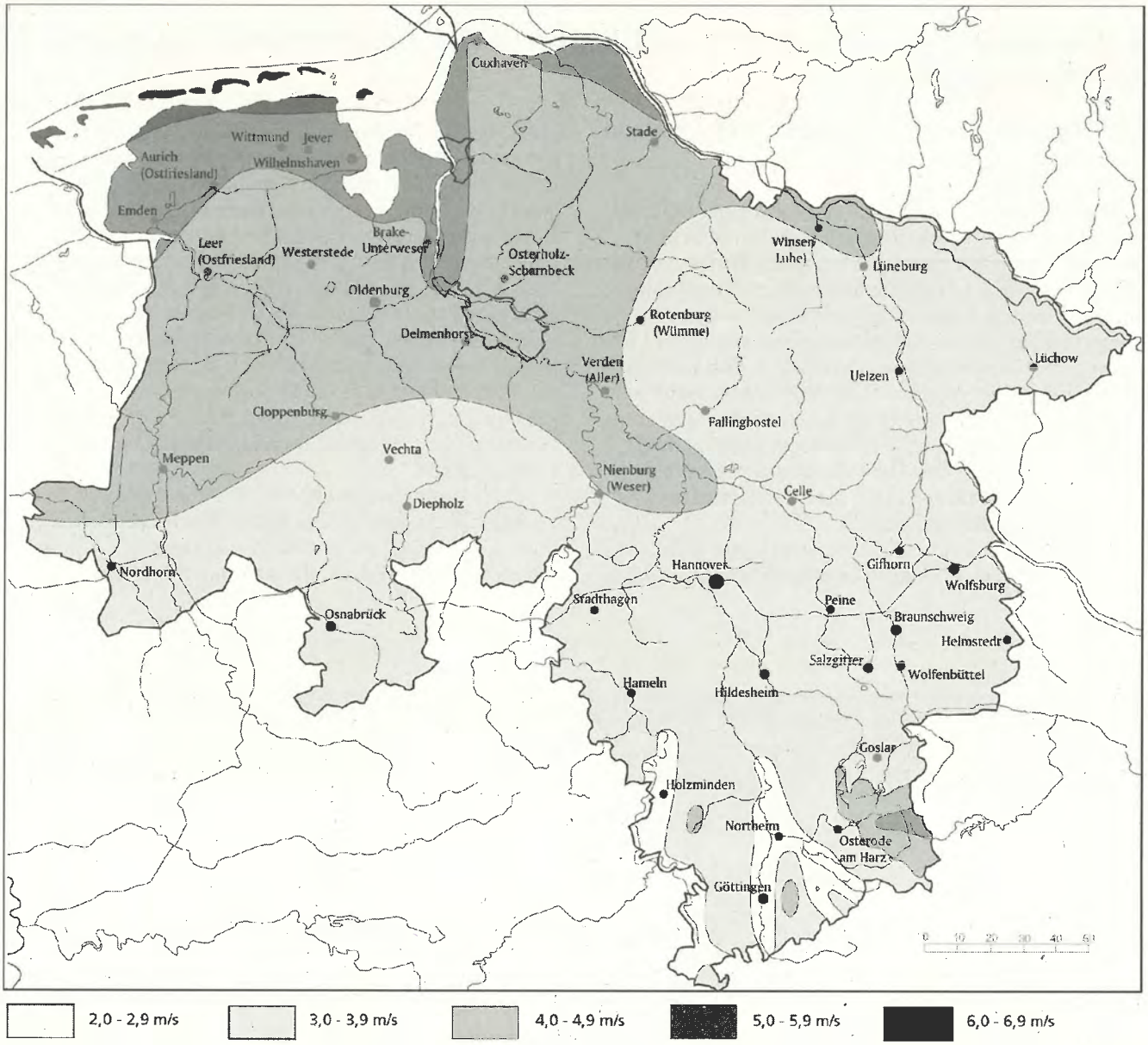


Abb. 3: Übersicht über die mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten in Niedersachsen (nach GERTH & CHRISTOFFER 1994, verändert). – Karte: NLÖ, Dez. Naturschutzinformation, Schader/Schwarz.

höheren Windgeschwindigkeiten aus. Immissionsbelastungen werden dadurch verringert. Ostwetterlagen bedingen dagegen in der Regel Hochdruckeinfluss mit zum Teil geringen Windgeschwindigkeiten und deshalb verringertem Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitig hoher Ein- und Ausstrahlung können sich somit lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden.

Die Luftgüte erreicht in Niedersachsen im bundesdeutschen Vergleich ein relativ günstiges Niveau; dies gilt insbesondere außerhalb der Ballungsgebiete (Abb. 5). Luftgütedaten des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen, LÜN, liegen seit 1978 vor und sind in den LÜN-Jahresberichten sowie in dem Sonderbericht »20 Jahre LÜN, Datenkatalog zur Luftgüte in Niedersachsen 1978 – 1997« dokumentiert (NLÖ 1998). Betrachtet man die Leitkomponenten der Luftgüte, so reduzierte sich die Luftbelastung am Beispiel der Jahresmittelwerte von Hannover von 1978 bis 1998:

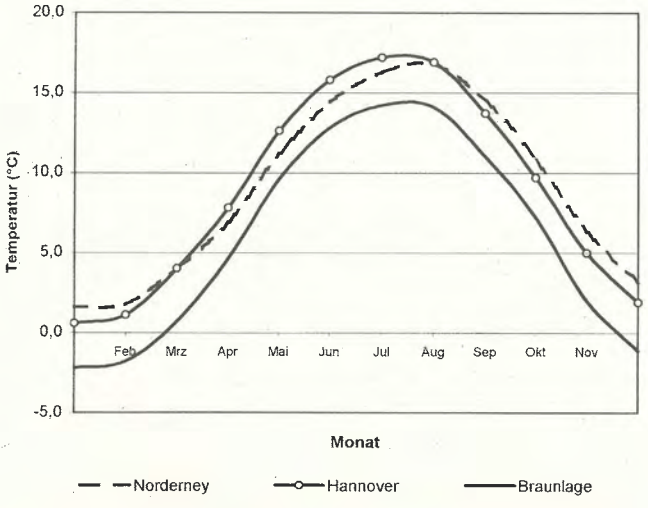


Abb. 4: Durchschnittlicher Jahresgang der Tagesmittel der Lufttemperatur für die DWD-Stationen Norderney, Hannover und Braunlage (Messzeitraum 1961 – 1990).
Datengrundlage: DWD (1996).

Schwefeldioxid – SO_2	1978: 52 µg/m³	1998: 9 µg/m³ Reduktion: 80 %
Schwebstaub	1978: 49 µg/m³	1998: 28 µg/m³ Reduktion: 40 %
Stickstoffdioxid – NO_2	1978: 38 µg/m³	1998: 30 µg/m³ Reduktion: 20 %
Ozon – O_3	1990: 35 µg/m³	1998: 42 µg/m³ Zunahme: 20 %

Auch wenn die Auswahl der Jahre willkürlich ist, so zeigen die Vergleiche dennoch die allgemeine Tendenz. Ursachen für die Entwicklungen sind

- die technischen Weiterentwicklungen und Maßnahmen bei den Emissionsminderungen bei Industrieanlagen, Kraftwerken und im Kraftfahrzeugbereich,
- die Betriebsstilllegungen und Sanierungsmaßnahmen in den neuen Bundesländern, so dass die Bedeutung von Ferntransporten bei östlichen Windrichtungen zurück ging,
- die Umstellungen des Hausbrandes auf Erdgas und Fernwärme.

Regionale Unterschiede in der Luftgüte treten auf, da die bodennahe Durchmischung vom Küstenraum zum südlichen Bergland durch den Einfluss der Windstärke sowie der Reliefstruktur abnimmt. Auch die regional unterschiedlichen Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsdichten spielen eine Rolle. Höhere Luftschadstoffbelastungen weisen vor allem die Ballungsgebiete Hannover, Braunschweig, Osnabrück, Göttingen sowie Gebiete im Harzvorland auf. Punktuell können Einzelemittenten aus den Bereichen Industrie und Landwirtschaft ungünstige Verhältnisse bewirken. In der Regel sind aber Belastungsschwerpunkte - insbesondere durch die krebserregenden Komponenten Benzol und Ruß – an Bereiche mit erhöhten Kraftfahrzeugverkehrsemissionen gebunden. Hier können die Jahresmittelwerte von Benzol und Ruß die Prüfwerte der 23. BImSchV (Benzol: 10 µg/m³, Ruß: 8 µg/m³) erreichen oder überschreiten (Abb. 6). Auch die Stickstoffdioxidkonzentrationen sind an solchen Orten deutlich erhöht.

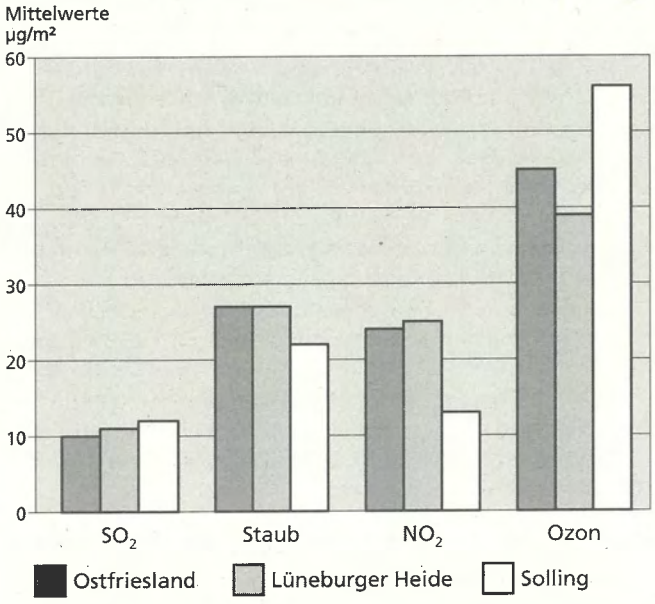


Abb. 5: Vergleich der Luftbelastung anhand der Leitkomponenten der Luftgüteüberwachung (Mittelwerte 1990 bis 1998) aus verschiedenen Regionen in den großen Naturräumen Niedersachsens. - Datengrundlage: NLÖ (1998).

Im Hinblick auf landschaftsplanerische Aussagen lassen sich die Komplexe Klima und Luft in Niedersachsen allgemein wie folgt charakterisieren:

- Gute Luftaustauschbedingungen sorgen für generell geringe Immissionsbelastungen.
- Lokal erhöhte Immissionsbelastungen entstehen durch reduzierte Austauschbedingungen in Verbindung mit hohen Emissionen.
- Wichtigste Emissionsquelle ist der KFZ-Verkehr. Partiell sind auch Geruchsemissionen aus der Landwirtschaft sehr bedeutend.
- In landwirtschaftlich geprägten Räumen können lokal Belastungen durch erhöhte Stickstoffemissionen auftreten (Quellen: Massentierhaltung, Mineraldüngung).
- Bioklimatische Belastungen treten überwiegend vereinzelt und räumlich begrenzt auf.
- Autochthone Strömungssysteme können vor allem im Berg- und Bergvorland, aber auch in der Geest und Börde die klimatisch-lufthygienischen Bedingungen räumlich begrenzt positiv beeinflussen.
- Häufiges Auftreten hoher Windgeschwindigkeiten lässt Windschutz partiell in besonders windgefährdeten bzw. windexponierten Siedlungs- und Erholungsbereichen bedeutungsvoll werden.

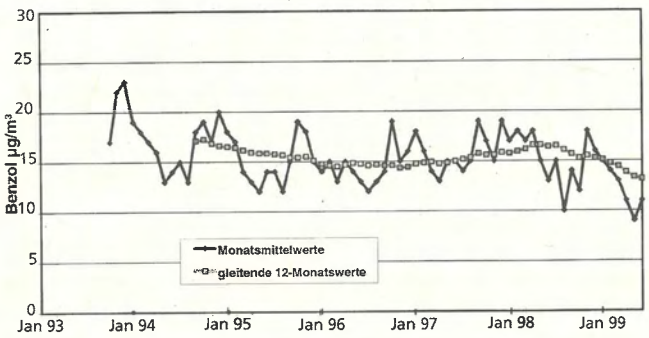


Abb. 6: Verkehrsbedingte Benzol-Immissionen in Braunschweig (Verkehrsmessstation Bohlweg). - Aus: NLÖ, LÜN-Jahresbericht 1998.

2.2 Anteile austauschstarker und austauschschwacher Wetterlagen

Die Klimaökologie unterscheidet generell austauschintensivere und austauschschwächere Wetterlagen. Allgemein liegt eine austauschschwache Wetterlage vor, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe 1,5 m/s unterschreitet (SCHIRMER 1988). Für die Bildung örtlicher Ausgleichsströmungen ist neben der schwachen Grundströmung in der Atmosphäre aber auch eine hohe Ausstrahlung wegen bewölkungsarmem Himmel erforderlich. Als gebräuchliche Kriterien für eine Strahlungsnacht gelten heute im Rahmen gutachterlicher Betrachtungen Windgeschwindigkeiten < 2,5 m/s und Bewölkungsgrad < 4/8 (u. a. DWD 1996). In diesem atmosphärischen Zustand steigt das lufthygienisch-bioklimatische Belastungspotential, und die gleichzeitig entstehenden autochthonen Luftaustauschprozesse entwickeln sich zu wirksamen bodennahen Strömungen (BECKRÖGE 1990).

Das Verhältnis austauschstarker und austauschschwacher Wetterlagen bestimmt damit die Häufigkeit und die Ausprägung von

- Immissionsbelastungen in Bereichen höherer Emissionen und Bereichen mit eingeschränkter Durchlüftung (Tallagen, dicht bebauten Siedlungsbereichen usw.);
- bioklimatischen Belastungen (Wärmebelastung, »Schwüle«, Kältestress, Windstress) in Städten,
- thermischen und/oder durch das Relief bedingten Luftaustauschströmungen und
- Kaltluftansammlungen und Nebel.

Wetterbedingungen mit Austauscharmut und hoher Ein- und Ausstrahlung können sich in Niedersachsen i. d. R. an 15 % – 25 % der Tage im Jahr einstellen (MOSIMANN et al. 1992b, DWD 1996). Im Süden und Südosten herrscht zwei- bis dreimal häufiger Austauscharmut vor als in küstennahen Gebieten im Nordwesten.

2.3 Klima- und immissionsökologische Effekte unter dem Aspekt der Planung

2.3.1 Besondere Effekte bei austauschstärkeren Wetterbedingungen

Austauschintensive Wetterbedingungen mit hohen Windgeschwindigkeiten stellen sich meist im Zusammenhang mit dem Durchzug von Tiefdruckausläufern bei Westwetterlagen ein. Durch Über-, Um- und Durchströmungseffekte in den verschiedenen Relief- und Oberflächenstrukturen kommt es kleinräumig und regional zur Ausbildung von

- stark belüfteten Bereichen (Kuppen- und Kammlagen),
- Bereichen mit erhöhtem Auftreten von Düsen-, Kanalisierungs- und Eckeneffekten (Tallagen, Straßenschluchten, Hochhausbebauung etc.),
- Bereichen mit erhöhter Turbulenzintensität (Leelagen, Straßenschluchten etc.) und
- lokalen, austauschreduzierten Bereichen im Windschatten, die als »Schadstoffsedimentationsfallen« wirken.

Diese Phänomene sollten in Niedersachsen in vielen Gebieten mit hohen mittleren Windgeschwindigkeiten (Abb. 3) in der Planung beachtet werden. Austauschstärkere Wetterlagen beeinflussen dabei die klima- und immissionsökologischen Verhältnisse in Siedlungs- und Erholungsräumen vorteilhaft:

- Reduzierung der Immissionsbelastung durch Diffusions- und Verdünnungseffekte.
- Permanente Zuführung meist relativ unbelasteter Luftmassen.
- Wärmebelastungen sind selten und werden in der Regel schnell abgebaut.

Es gibt aber auch einige nachteilige Effekte:

- Wenn immissionsempfindliche Nutzungen in der Abluftfahne bedeutender Emittenten liegen, kann es zu höheren Immissionsbelastungen kommen.
- Windstress (in windoffenen Bereichen).
- Vermehrtes Auftreten von Kältereizen (vor allem im Harz).

2.3.2 Klimatisch-lufthygienische Zustände bei austauschschwachen Wetterbedingungen

Während austauschschwacher Wetterlagen herrschen geringe Windgeschwindigkeiten. Luftschadstoffe reichern sich in der bodennahen Luftschicht an, und es entstehen lokal höhere Immissionsbelastungen. Bei hoher nächtlicher Ausstrahlung bilden sich autochthone, thermisch und/oder orographisch bedingte Strömungssysteme aus, die durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen können.

Allgemein erhöht Strahlungswetter Schadstoffkonzentrationen in Siedlungsräumen und im Nahbereich von Straßen - vor allem bei ungünstiger Relieflage (Mulden, Senken etc.). Diese atmosphärischen Bedingungen können belastend werden. Verantwortlich hierfür sind folgende Prozesse:

- Die ausstrahlungsbedingten, stabilen Schichtungsverhältnisse in der bodennahen Atmosphäre (kalte Luftschicht am Boden bedingt vertikale Temperaturzunahme - es entsteht eine Bodeninversion) vor allem in den Nachtstunden reduzieren bei diesen windschwachen Verhältnissen den Austausch zusätzlich (Bremsung des Vertikal- / Horizontalaustausches) und verstärken damit die Emissionsanreicherung.
- Die hohe Einstrahlung lässt die Ozonbelastung vor allem in den Nachmittagsstunden steigen.
- Die relative Luftruhe bei austauschschwachen Wetterlagen erhöht im Sommer die Wärmebelastung.

Folgende Zustände und Bedingungen sind für die Planung bei austauschschwachen Wetterlagen relevant:

Lufthygienische Situation

Die mittlere Immissionsbelastung in Siedlungsräumen ist bei austauschschwachen Situationen gegenüber Wetterlagen mit guten Austauschbedingungen um ca. 50 % – 100 % erhöht. Die zulässigen Immissionswerte gemäß TA-LUFT (1986) werden aber i. d. R. nicht erreicht. Zu den Belastungsschwerpunkten, die Immissionskonzentrationen bis zu 70 % des Immissionswertes aufweisen, gehören z. B. gemäß Messungen im Rahmen des Ökologischen Forschungsprogrammes in Hannover Innenstädte sowie Industrie- und Gewerbeflächen. Überschreitungen treten punktuell in Straßenkreuzungsbereichen, in Straßenschluchten mit hohem Verkehrsaufkommen (vgl. Abb. 6) und in Industriegebieten mit bedeutenden Emittenten auf. Auch in der freien Landschaft existieren punkt- und linienhaft höhere Belastungen im Bereich stark befahrener Straßen und großer Industriebetriebe. Die Grundbelastung im Umland und in großen, emissionsarmen innerstädtischen Grünflächen liegt zwischen 10 % und 25 % des gesetzlichen Immissionswertes. Setzt man aber die für die Planung besser geeigneten, nutzungsbezogenen Mindeststandards von KÜHLING (1986) als Bewertungsgrundlage an, akzentuiert und differenziert sich die Belastungssituation (Kap. 11.1).

Bioklimatische Belastungssituation

Auch in Niedersachsen ergeben sich in Siedlungsräumen bioklimatische Belastungen für die Menschen, und zwar vor allem im Sommerhalbjahr, wenn bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen feuchte Luftmassen vorherrschen. Hannover weist durchschnittlich 19 schwüle Tage im Jahr auf (LANDESHAUPTSTADT HANNOVER 1981).

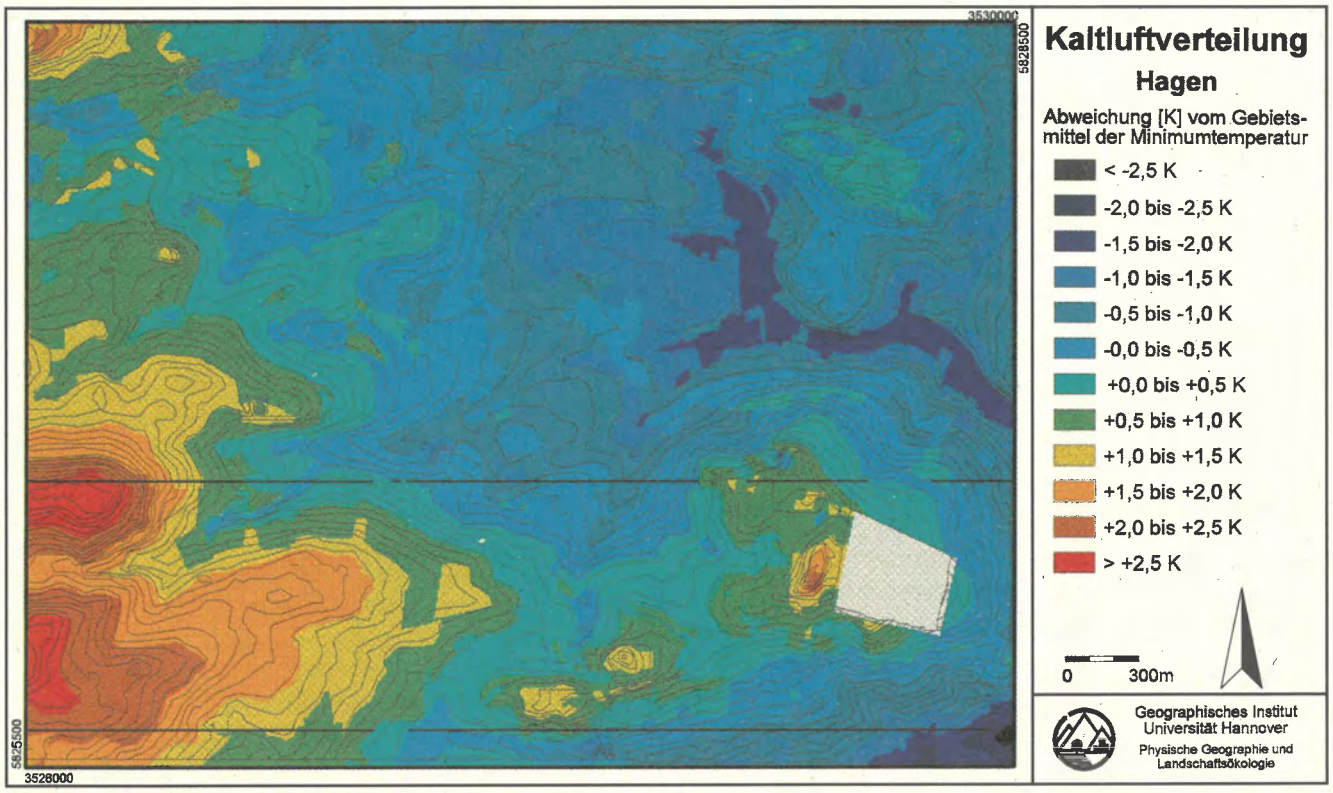


Abb. 7: Das Minimumtemperaturfeld im Raum Hagen/Neustadt a. Rbge. Die Karte stellt Abweichungen der Temperatur vom Gebietsmittelwert der Minimumtemperatur dar. Grundlage sind Temperaturmessfahrten, die mit Hilfe eines empirisch-statistischen Temperaturmodells in die Fläche umgesetzt wurden. Der »weiße Fleck« ist eine Sandabgrabung, deren eigenständiges Mikroklima nicht modelliert werden kann. Aus: DUTTMANN (1994).

Die Wärmebelastung (»Schwüle«) stellt sich aber im Vergleich zu Süddeutschland deutlich weniger häufig und weniger stark ein (JENDRITZKY et al. 1990). Überwärmung ist nur im Innenbereich größerer Städte und für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen belastend. Hier können Komforträume mit ihren günstigen bioklimatischen Bedingungen eine wichtige Funktion erfüllen. Generell sind die Vor- und Nachteile der Überwärmung gegeneinander abzuwägen (siehe nächster Punkt).

Thermische Situation in verschiedenen Oberflächenstrukturen

Die intensive nächtliche Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation bildet bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen Kaltluft. Diese Luftmassen können i. d. R. als Entlastungspotential für die belasteten Siedlungsräume fungieren (Kalt- / Frischluftversorgung), aber auch die Frostgefahr für empfindliche Kulturen verstärken. Kaltluft ist ein Merkmal besonderer Lokalklimabedingungen (Abb. 7).

Hohe Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen benachbarten Oberflächenstrukturen wirken auch als Motor für lokale, kleinräumige Luftaustauschprozesse. Die auftretenden Temperaturgradienten zwischen Stadt und Umland erreichen in Niedersachsen während der starken Abkühlungsphase in den frühen Nachtstunden bis zu 10 K (beispielsweise in Hannover und Braunschweig, MOSIMANN et al. 1992b, 1995). Große Temperaturunterschiede treten zwischen stärker verdichteten Siedlungsbereichen und offenen landwirtschaftlichen Flächen auf (Abb. 8).

Austauschbedingungen in verschiedenen Oberflächenstrukturen

In den raueren Baukörper- und Grünflächenstrukturen wird die Windgeschwindigkeit in der Regel erheblich reduziert (Ausnahme: Bereiche mit Windstress). Diese eingeschränkten Durchlüftungsverhältnisse können die klimatisch-lufthygienischen Bedingungen verschlechtern. Im Extremfall entstehen bei geschlossener Randbebauung und dichter Gehölzstruktur und/oder in Muldenlage Bereiche mit überdurchschnittlicher Stagnation in der bodennahen Luftschicht. Die nahezu vollständige Abkoppelung vom Windfeld bedingt hier ein höheres Risiko des Auftretens hoher bioklimatischer und/oder, sofern sich wichtige Emissionsquellen am Ort befinden, lufthygienischer Belastungen. Dabei können auch Grünflächen betroffen sein.

2.3.3 Luftaustauschprozesse bei austauschschwachen Wetterbedingungen

Die Wirksamkeit und Reichweite lokaler Luftaustauschprozesse hängen ab von den örtlichen Temperatur- und Druckgradienten und den die Strömung beeinflussenden Reliefstrukturen sowie der Oberflächenrauigkeit. Es lassen sich Strömungen unterschiedlicher Größenordnung unterscheiden. Die Austauschsysteme sind an Leitbahnen mit geringer Rauigkeit gebunden und können durch Austauschbarrieren behindert oder sogar unterbunden werden.

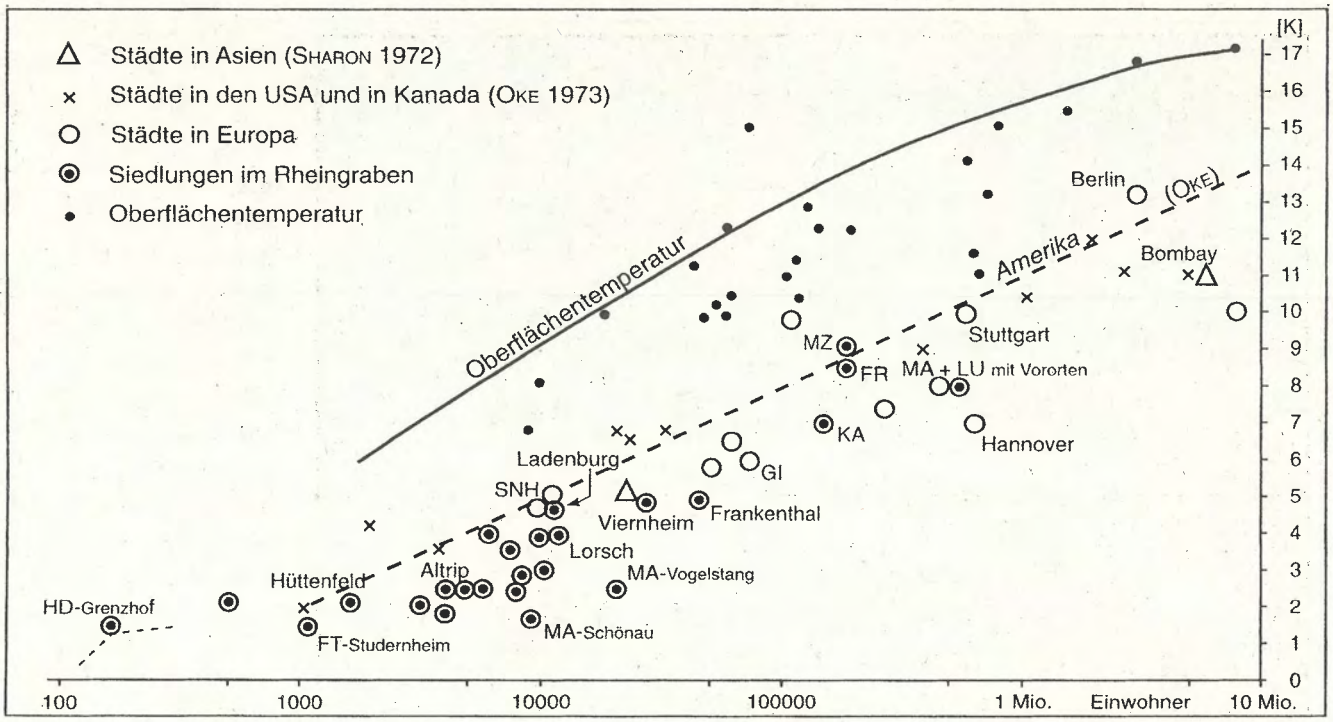


Abb. 8: Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der städtischen Überwärmung und der Einwohnerzahl von Siedlungen, dargestellt als maximale Differenz der nächtlichen Oberflächentemperaturen und Lufttemperaturen zwischen Siedlungen und Freiland. Lufttemperaturen nach zahlreichen Studien und Messungen. Kleine Punkte und obere Kurve = Oberflächentemperaturen nach Satellitenbildern (MATSON 1978, PRICE 1979). - Aus: FEZER 1995: 44; Abdruck mit frdl. Genehmigung des Verlags Klett-Perthes, Gotha.

Durch das Relief induzierte Strömungen

Klimaökologisch relevante Kaltluftabflüsse bilden sich in Abhängigkeit von der Oberflächenrauigkeit ab einer Neigung von 1° bis 2° aus (KIESE 1972, HÄCKEL 1990). Sie entstehen also auch im Flachrelief der Geest, entwickeln sich aber besonders im Berg- und Bergvorland.

Talabwinde besitzen größere orographische Einzugsgebiete, z. B. einzelne Täler bis hin zu größeren Talsystemen. Sie sind meist mehrere Dekameter mächtig und können Windgeschwindigkeiten bis zu 5 m/s (WEISE 1982) aufweisen. Die Reichweiten in die Bebauung hinein betragen bis zu 3 km (WERNER 1979). Nächtliche Talabwinde sind für Niedersachsen u. a. im Harz (Raum Goslar-Oker) an 15 % – 20 % der Tage eines Jahres nachgewiesen worden (HORBERT et al. 1991 und 1988). Dabei konnten Windgeschwindigkeiten von > 2,0 m/s festgestellt werden. Auch für den Raum Göttingen ist dieses Strömungssystem dokumentiert (BANGERT 1989).

Die Kaltlufteinzugsgebiete der **Hangabwinde** umfassen Hänge und Hangmulden und sind somit generell kleiner. Dementsprechend liegen die Abflussgeschwindigkeiten niedriger (bis zu 2 m/s). Die Mächtigkeit der Strömung beträgt selten > 10 m (FRANKE 1985, HERGERT 1991; Abb. 9). Hangabwinde können bis zu 1,5 km in die Bebauung eindringen (GROSS et al. 1996).

Abb. 9: Visualisierung eines Hangabwindes am Kronsberg mit Hilfe eines Rauchpatronenversuchs (südöstlicher Stadtrand von Hannover; 30.07.1990, ca. 21.30 Uhr).
Aus: HERGERT (1991).

Durch Bebauung induzierte Strömungen

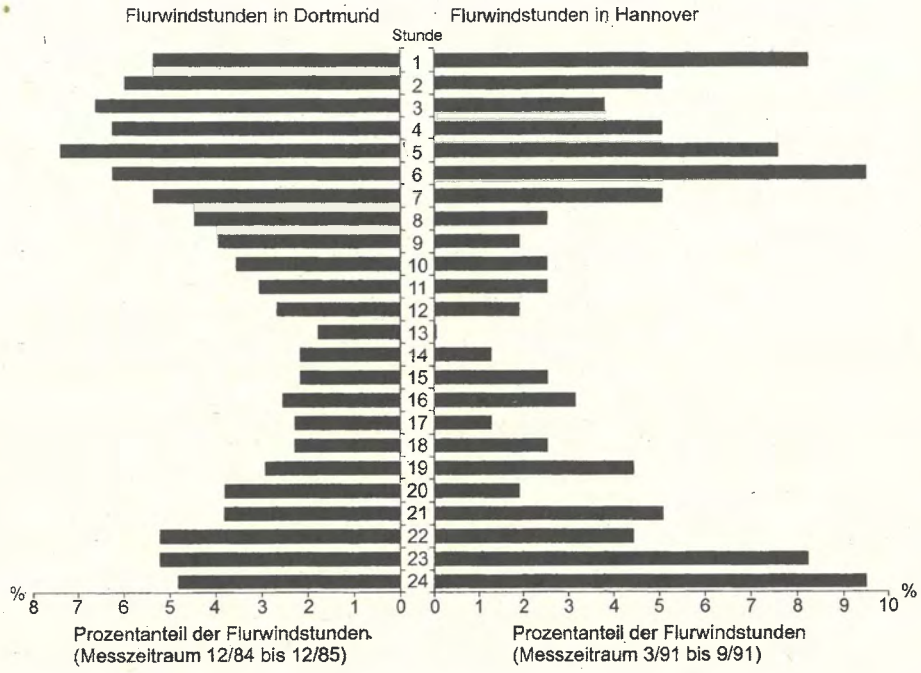


Abb. 10: Tagesgang der Flurwindstunden in Hannover im Vergleich zur Situation in Dortmund. Ausprägung und tageszeitlicher Verlauf der Flurwinde sind ähnlich. (Aus: LIPPERT 1992).

Flurwinde entstehen durch größere Temperaturunterschiede zwischen den vegetationsgeprägten Freiflächen des Umlandes einer Stadt und dem engeren Stadtbereich. Sie sind radial auf das Stadtzentrum ausgerichtet und an Leitbahnen gebunden. Es handelt sich um bodennahe Strömungen mit Geschwindigkeiten < 2 m/s (KIESE & OTTO 1986) und mit Reichweiten in die Bebauung hinein von bis zu 2 km. Sie treten besonders häufig in den Abend-, Nacht- und Morgenstunden auf, da zu diesen Zeiten die nutzungsabhängigen Temperaturdifferenzen am stärksten sind. Für Hannover (Abb. 10) und Braunschweig sind sie nachgewiesen (LIPPERT 1992, MOSIMANN et al. 1992b).

Kleinräumige Flurwinde bilden sich auch enger begrenzt zwischen dichter bebauten und unmittelbar angrenzenden unbebauten Flächen auf Grund der horizontalen Temperaturunterschiede aus. Diese räumlich untergeordneten Strömungssysteme sind bodennah und nur schwach ausgeprägt. Sie können 300–800 m in die Bebauung eindringen, wenn die Übergänge in die Siedlungsflächen durchlässig gestaltet sind. Dabei führen sie der Bebauung frische, relativ kühlere Luft zu. Allerdings ist der Verdünnungs- und Diffusionseffekt bescheiden. Auch diese Strömungen sind in Hannover und Braunschweig nachgewiesen (MOSIMANN et al. 1992b, BURKERT 1992, VORMANN 1992).

Land- / Seewindzirkulation

Die Ursache für dieses Strömungssystem liegt im unterschiedlichen thermischen Verhalten großer Wasserflächen (Nordsee, aber auch größere Seen wie Steinhuder Meer, Dümmer etc.) in Nachbarschaft zum Festland bzw. Umland (Abb. 11). Die Reichweite kann sich – vor allem in den Flussmündungsgebieten – bis zu 50 km ins Landesinnere erstrecken (KAUFELD 1979). Die Land-/ Seewindzirkulation charakterisiert somit im Küstenbereich das autochthone Austauschgeschehen.

Im Binnenland treten im Bereich größerer Seen tagsüber vor allem im Sommer und Herbst kleinräumige Zirkulationen zwischen Siedlungen und Wasserflächen auf. Nachweisbar sind sie bei Wasserflächen ab einer Größe von 40 ha (STADT MÜNSTER 1992). Die Reichweiten in die Bebauung dürften eher unter 300 m liegen (Ergebnis laufender Messungen in Schwerin).

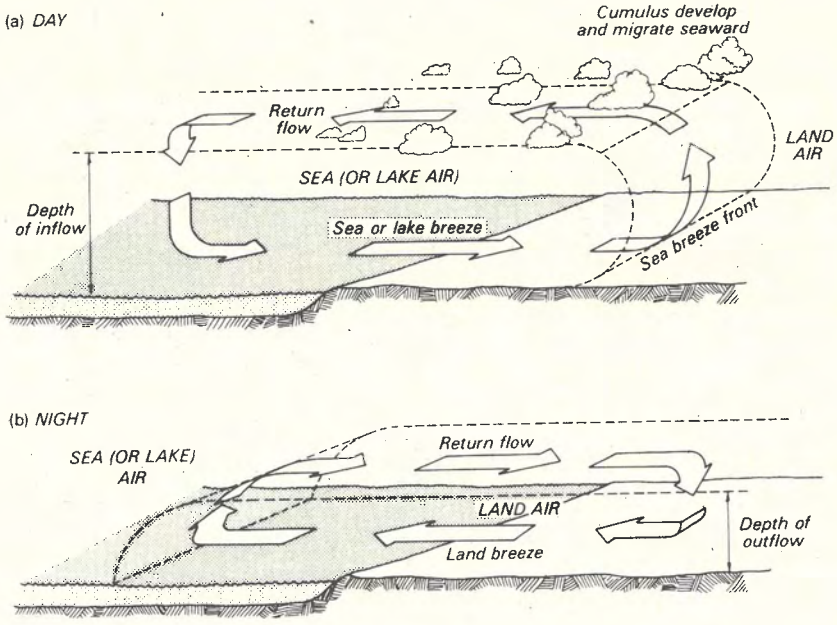


Abb. 11: Schematische Darstellung der Land- / Seewindzirkulation. Sie bildet sich bei ansonsten austauscharmen Strahlungswetterlagen an der Küste bzw. im Einflussbereich größerer Seen aus. (Aus: OKE 1987).

3 Die klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan

3.1 Erläuterung der einzelnen Elemente

Lufthygienisch und/oder bioklimatisch belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmungen

Dies sind Siedlungsbereiche mit überdurchschnittlicher lufthygienischer Belastung und/oder deutlicher Überwärmung vor allem während austauschschwacher (Strahlungs-) Wetterbedingungen. Solche Bereiche werden Wirkungsräume genannt, wenn sich Ausgleichsströmungen hier durch eine Verbesserung von Siedlungsklima und Immissionssituation auswirken. Die Wirkungsräume werden also immer im Zusammenhang mit Ausgleichsräumen betrachtet (Kap. 4.3.1).

Das Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge
Ein Wirkungsraum ist ein bebauter Raum (oder zur Bebauung vorgesehener Raum), an den vegetationsgeprägte, unbebaute Räume angrenzen und in dem Luftaustauschprozesse bestehende bioklimatische und/oder lufthygienische Belastungen vermindern oder abbauen können.

Ein Ausgleichsraum ist ein vegetationsgeprägter, unbebauter Raum, der an einen Wirkungsraum angrenzt oder über wenig raue Strukturen angebunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser Außenraum zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei (= Ausgleichsleistung).

Potenzielle Belastungsräume im Geestbereich sind Siedlungsflächen mit hohem Versiegelungs- und Überbauungsgrad ab etwa 1 km² Größe und Bereiche hoher Emissionen (Kap. 4.3.2). Im Küstenraum können Wirkungsräume nur in größeren Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern und im Nahbereich von bedeutenden Emittenten auftreten. Im Berg- und Hügelland entstehen wegen der reduzierten Austauschbedingungen generell auch in kleinen Siedlungen in der Umgebung von bedeutenden Emittenten und Hauptverkehrsstraßen Belastungsräume. Die Belastung von Siedlungsräumen wird anhand der lufthygienischen Kenngrößen (Kap. 11), der Klimabedingungen (Kap. 10) und der Funktionsbeziehungen zu den umliegenden Freiflächen (Kap. 12) beurteilt.

Kalt- / Frischluftentstehungsgebiete

Kaltluft
Bodennahe Luftschicht, die sich bei nächtlicher Ausstrahlung besonders stark abkühlt, weil aus dem Boden nur wenig Wärme nachgeliefert wird. Kaltluft entsteht vor allem über Arealen mit Böden, die eine geringe Wärmespeicherfähigkeit aufweisen und mit isolierenden Vegetationsstrukturen (Grasdecken etc.) bestanden sind.

Frischluft
Kaltluft, die eine relativ geringe lufthygienische Vorbelastung aufweist. In den Kaltluftentstehungsgebieten dürfen keine oder nur geringe Emissionen auftreten.

Vegetationsbestandene Freiflächen mit hoher Produktion relativ wenig belasteter Kaltluft stellen klima- und immissionsökologische Ausgleichsräume (Kap. 4.3.2) im Geestbereich sowie im Berg- und Hügelland dar. Der produzierte Kaltluftmassenstrom hängt vom vorherrschenden Vegetationstyp, den Bodeneigenschaften (Bodenfeuchte, Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherfähigkeit des Substrates) und besonders von der Größe des Kaltluftentstehungsgebietes ab. Über Hänge, Tiefenlinien und Leitbahnen im Siedlungsbereich strömen die Kalt- / Frischluftmassen im Verlauf einer Strahlungsnacht in die Belastungsräume und können dort die bioklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse verbessern.

Die Ausgleichsräume sind also immer im Zusammenhang mit Wirkungsräumen zu sehen. Die Kaltluftproduktion und die lufthygienische Vorbelastung in den vegetationsbestandenen Freiflächen lässt sich über die Methoden in den Kapiteln 11 und 12 bestimmen.

Leitbahnen für lokalen Luftaustausch

Leitbahnen sind verbindende Oberflächenstrukturen zwischen Ausgleichs- und Wirkungsräumen, die über autochthone Luftaustauschprozesse einen Transport relativ wenig belasteter und kühler Luftmassen in die belasteten Siedlungsräume hinein ermöglichen. Gleichzeitig stellen sie auch Ventilationsbahnen bei austauschstärkeren Wetterbedingungen dar.

Leitbahnen sind offene, wenig raue und durchlässige Bereiche wie Tiefenlinien, Talauen, offene Hangflächen und allgemein vegetationsgeprägte und/oder versiegelte Freiflächen in Städten mit Anbindung an belastete Siedlungsräume (= Wirkungsräume). Die Ausweisung und Bewertung der Leitbahnen erfolgt nach den Methoden in Kapitel 13.

Bereiche und Objekte mit zu verbessernder Durchlässigkeit für lokale Ausgleichsströmungen

Übergangsbereiche von Ausgleichs- in Wirkungsräume sollten möglichst offen und durchströmungsgünstig, d. h. generell durchlässig, gestaltet werden. Dicht geschlossene Siedlungsränder und Austauschbarrieren, wie z. B. Verkehrsdämme und Industriekomplexe in Leitbahnen behindern die lokalen Kalt- / Frischluftströmungen stark. Diese Austauschbarrieren sollten im Landschaftsrahmen- und Landschaftsplan behandelt werden, wenn die Barrierewirkung mittelfristig durch planerische und gestalterische Maßnahmen gemindert werden kann. Die Verfahren für die Ausweisung und Bewertung fasst Kapitel 13.5 zusammen.

Wälder mit Immissionsschutzfunktion

Waldbestände in einem Windrichtungssektor, aus dem häufig Luftmassen mit höheren Immissionsbelastungen an Siedlungs- und Erholungsräume herangeführt werden, können die Immissionskonzentrationen der Luftmassen absenken, weil sie Luftschadstoffe filtern, d. h. als »Depositionsfalle« wirken. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn »durchlässige« Wälder eine Emissionsquelle lokal umgrenzen.[1)]

Grundlage für die Ausweisung von Immissionsschutzwäldern sind die Emissions- und Immissionsverhältnisse sowie die Windverteilung (möglichst gekoppelt mit der Luftbelastung) (Kap. 10.4 und 11). Die Filterwirksamkeit der Wälder wird mit Hilfe der Verfahren in Kapitel 14 bestimmt und bewertet.

Gehölzstreifen mit Immissionsschutzfunktion

Vielfältig aufgebaute Gehölzstreifen entlang von Emissionsquellen filtern und fällen Luftschadstoffe aus, so dass angrenzende immissionsempfindliche Nutzungen eine geringere Belastung erfahren. Allgemein gelten ähnliche Zusammenhänge wie im Falle der Immissionsschutzwälder, die von der Immissionsschutzfunktion profitierenden Räume sind jedoch kleiner.

Kriterien zur Ausweisung der Gehölzstreifen mit Immissionsschutzfunktion finden sich in Kapitel 14. Die Aufnahme der Immissionsschutzstreifen in den Landschaftsrahmenplan hängt vom Darstellungsmaßstab ab.

Gehölzstrukturen mit Windschutzfunktion

Gehölzstrukturen wie Wälder, Gehölzstreifen und Hekken erhöhen die Rauigkeit und beeinflussen damit das bodennächste Strömungsfeld. Daraus resultieren Veränderungen des Windfeldes mit zum Teil starker Reduzierung der Windgeschwindigkeit.

Allgemeine Bedeutung besitzt der Windschutz natürlich im küstennahen Raum und auf weiter im Landesinneren gelegenen Geestrücken. Im Berg- und Hügelland benötigen dagegen nur kleinräumige exponierte Bereiche Windschutz. Darstellungswürdig sind nur Strukturelemente mit nachweislich hoher Windschutzfunktion. Dies lässt sich über die Kriterien gemäß Kapitel 14 ermitteln. Die Integration der relevanten Gehölzstrukturen in den Landschaftsrahmenplan unterliegt den gleichen Begrenzungen wie beim Element »Gehölzstreifen mit Immissionsschutzfunktion«.

Klimatisch-lufthygienisch günstige Bereiche im Siedlungsraum

Komforträume sind vielfältig strukturierte Freiflächen in Siedlungen. Sie weisen günstige klima- und immissionsökologische Bedingungen auf, weil sie lufthygienisch relativ unbelastet sind und über ihre mikroklimatische Vielfalt den unterschiedlichen Ansprüchen der Menschen in der Stadt an die Klimabedingungen im Außenraum gerecht werden.

Diese Komfortinseln mit günstigen bioklimatischen und lufthygienischen Verhältnissen können über die Kriterien in Kapitel 9 ermittelt werden. Aufschluss über die tatsächlich gegebenen klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften erhält man durch die Methoden in den Kapiteln 10 und 11.

3.2 Die Karte der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente

Die Karte der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente basiert auf der Analyse des klimatisch-lufthygienischen Ist-Zustandes des Plangebietes. Die Informationen zu schutzwürdigen Bereichen, Belastungen, Funktionszusammenhängen und steuernden Strukturen werden zu den unter Kap. 3.1 aufgeführten klima- und immissionsökologisch wichtigen Elementen aggregiert. Die Darstellung beschränkt sich auf Elemente und Bereiche, die sich über landschaftsplanerische Maßnahmen positiv beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Abb. 12 enthält einen Vorschlag zu Inhalt und Darstellung dieser Karte.

Die Karte der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente zeigt schutzwürdige Bereiche und Konfliktbereiche mit Flächennutzungen wie Industrie- und Gewerbeansiedlung, Wohnbebauung, Straßenplanung. Sie liefert – falls erforderlich im Zusammenspiel mit den Detailinformationen einer Klimafunktionskarte (Abb. 35 - 38) – Grundlagen zur Beurteilung von klimatischen und lufthygienischen Beeinträchtigungen, die bei einer Nutzungsänderung auftreten können.

Gleichzeitig stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Klima/Luft in der Landschaftsplanung bereit.

Das NLÖ wird mit der Fortschreibung der »Hinweise der Fachbehörde für Naturschutz zur Aufstellung des Landschaftsrahmenplanes« Empfehlungen für Planzeichen veröffentlichen. Die dort für die Karte »Klima/Luft« vorgeschlagenen Mindestinhalte nehmen die Inhalte der Abb. 12 in vereinfachter Form und mit veränderten Planzeichen auf.

[1)] Für den Wald bedeutet dies natürlich eine besondere Belastung.

Klima- und immissionsökologisch wichtige Elemente im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan

Belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmungen

Bioklimatisch belastetes Siedlungsgebiet

Lufthygienisch belastetes Siedlungsgebiet

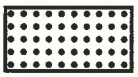
Lufthygienisch und bioklimatisch belastetes Siedlungsgebiet

Kalt-/ Frischluftentstehungsgebiete

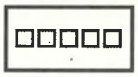
Frischluftentstehungsgebiete

Kaltluftentstehungsgebiete

Luftaustausch


Leitbahnen für lokalen Luftaustausch

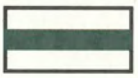
Strukturen zu verbessernder Durchlässigkeit für lokale Ausgleichsströmungen

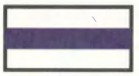

Bereiche (z. B. Siedlungsränder)

Objekte (z. B. Damm- und Brückenbauwerke)

Gehölzstrukturen mit Immissions- oder Windschutzfunktion

Wälder mit Immissionsschutzfunktion


Gehölzstreifen mit Immissionsschutzfunktion


Gehölzstrukturen mit Windschutzfunktion

Klimatisch-lufthygienisch günstige Bereiche im Siedlungsraum

Komforträume, Komfortinseln

Bereiche mit besonderem Lokalklima

Klimatop mit Wärmegunst

Klimatop mit starker nächtlicher Abkühlung und Nebel

Klimatop mit Beschattung und hoher Feuchte

Abb. 12: Legende zur Karte der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan.

4 Das allgemeine Vorgehen

4.1 Arbeitsablauf für die Bearbeitung des Schutzguts Klima/Luft bei Erstellung der Landschaftsrahmen- und Landschaftspläne

Abb. 13 zeigt den vorgeschlagenen Bearbeitungsablauf für den Komplex Klima/Luft im Landschaftsrahmenplan bzw. Landschaftsplan. Einen inhaltlichen Rahmen bilden die Qualitätsziele für die drei klimaökologischen Regionen.

Die einzelnen Bearbeitungsstufen sind so konzipiert, dass sie aufeinander aufbauen und eine zielgerichtete, rationelle Erfassung der für das jeweilige Plangebiet wichtigen klima- und immissionsökologischen Elemente ermöglichen. Ergebnis der Analyse ist eine Übersicht über die klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge im Plangebiet.

4.1.1 Ermittlung der Bearbeitungsräume im Plangebiet

■ Zuordnung des Plangebietes zu einer der drei klimaökologischen Regionen Niedersachsens (Kap. 4.2). Diese Räume unterscheiden sich deutlich im klima- und immissionsökologischen Prozessgeschehen sowie in den makroklimatischen Rahmenbedingungen und der Luftbelastung. Für diese Räume können auch entsprechend angepasste Qualitätsziele für die Schutzgüter Klima und Luft formuliert werden.

Die Bearbeitung des Komplexes Klima/Luft unterscheidet sich in den drei Regionen
- bei den zu bearbeitenden Elementen und Zusammenhängen,
- in der Bearbeitungstiefe bei den einzelnen Elementen und
- beim Umfang der zu bearbeitenden Flächen.

Allgemein nimmt die Bearbeitungsintensität vom Küstenraum zum Bergland zu.

■ Eingrenzung der zu bearbeitenden Teilräume innerhalb des Plangebietes (Kap. 4.3.1). Es findet meist keine flächenhafte Bearbeitung statt. Die Analyse des Komplexes Klima/Luft kann sich auf das Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge einschließlich der vermittelnden Strukturen (Kap. 4.3.2) und auf klimatisch-lufthygienische Belastungsschwerpunkte im Bereich von Flächen für naturbezogene Erholung beschränken.

■ Es ist empfehlenswert, hier als erstes Zwischenprodukt eine Arbeitskarte der »klimaökologisch relevanten Räume« für das Plangebiet zu erstellen.

4.1.2 Bestimmung der klima- und immissionsökologischen Bearbeitungsinhalte und der Bearbeitungstiefe in den relevanten Teilflächen des Plangebietes

■ Festlegung der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente, die im konkreten Plangebiet voraussichtlich von Bedeutung sind (Kap. 3). Hieraus resultieren die inhaltlichen Bearbeitungsschwerpunkte.

■ Zuordnung der Methoden für die Bearbeitung der wichtigen Elemente (Kap. 5). Je nach angestrebter Bearbeitungstiefe, die aus dem Problemdruck, den vorhandenen Daten und der geforderten Aussagegenauigkeit resultiert, wird ein zeitlich durchführbares und finanzierbares Bearbeitungskonzept zusammengestellt und abgearbeitet. Zur Verbreiterung der Datenbasis können selektiv eigene Messungen zu einzelnen Klimaelementen und zusätzliche Kartierungen von Strukturparametern sinnvoll oder unumgänglich sein.

4.1.3 Analyse der klima- und immissionsökologischen Gegebenheiten, Belastungen und Funktionszusammenhänge

Aus dieser Analyse entstehen verschiedene Zwischenprodukte, die auch kartographisch umgesetzt werden können oder bereits als Karten vorliegen. Neben klimatisch-lufthygienischen Einzelinformationen gehören auch Grundlagenkarten dazu, da sie einen guten Einstieg in die räumlichen Funktionszusammenhänge ermöglichen können. Sinnvolle Zwischenergebnisse auf Karten sind zum Beispiel:
- Karten der klimaökologischen Flächeneinheiten,
- Karten zu berechneten Verkehrsemissionen,
- Karten des nächtlichen Lufttemperaturfeldes bei austauscharmen Strahlungswetterlagen (Abb. 20) und
- Karten zu ausgewählten Immissionsfeldern.

4.1.4 Bestimmung der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente

■ Zusammenfassen der einzelnen Informationsebenen zur Beschreibung und Bewertung des klima- und immissionsökologischen Ist-Zustandes im Plangebiet. Synthetische Herausarbeitung der wichtigen Funktionszusammenhänge im Plangebiet. Das sinnvolle Endprodukt der ganzen Analyse ist eine Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen (siehe Abb. 35 - 38), mindestens als Arbeitskarte.

■ Optional: Umsetzen der Informationsebenen der Klimafunktionskarte in Planungskarten für eine unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten günstige Entwicklung des Plangebietes, wie z. B. die »Karte der klimaökologisch verträglichen Soll-Struktur«.

■ Ausweisung der für die Schutzgüter Klima und Luft wichtigen Flächen und Einzelelemente (Beispiel: Frischluftentstehungsgebiete, Austauschbarrieren). Als Produkt wird die »Karte der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente« für den Landschaftsrahmenplan bzw. Landschaftsplan zusammengestellt.

4.2 Die drei klimaökologischen Regionen in Niedersachsen mit ihren Besonderheiten beim Schutzgut Klima/Luft

Klima- und immissionsökologisch belastende Situationen treten in Niedersachsen vornehmlich während austauschschwacher Wetterlagen auf. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens örtlicher Immissionsspitzen nimmt dabei vom ländlichen Raum zu den Städten und vom Küstenbereich zum niedersächsischen Bergvorland und Bergland zu. Über die Auswertung bestehender Informationen zum Windfeld sowie zu den Luftbelastungsverhältnissen im jeweiligen Plangebiet können die klimatisch-lufthygienischen Rahmenbedingungen differenziert beurteilt und eingeordnet werden.

Generell ist die Relevanz der Bearbeitung des Schutzguts Klima/Luft in der Landschaftsplanung in verschiedenen Räumen Niedersachsens unterschiedlich, weil

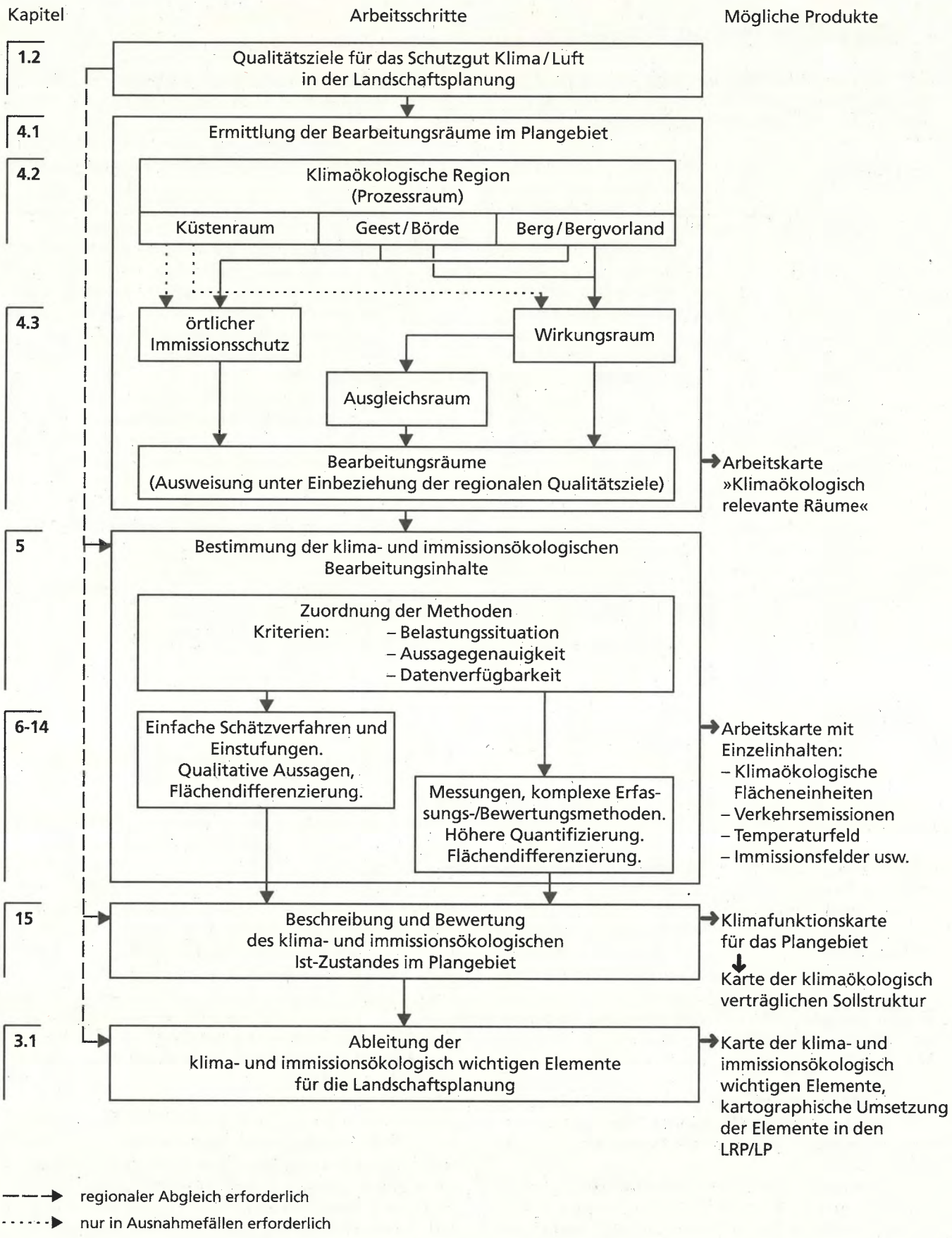


Abb. 13: Ermittlung der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente für die Landschaftsplanung.

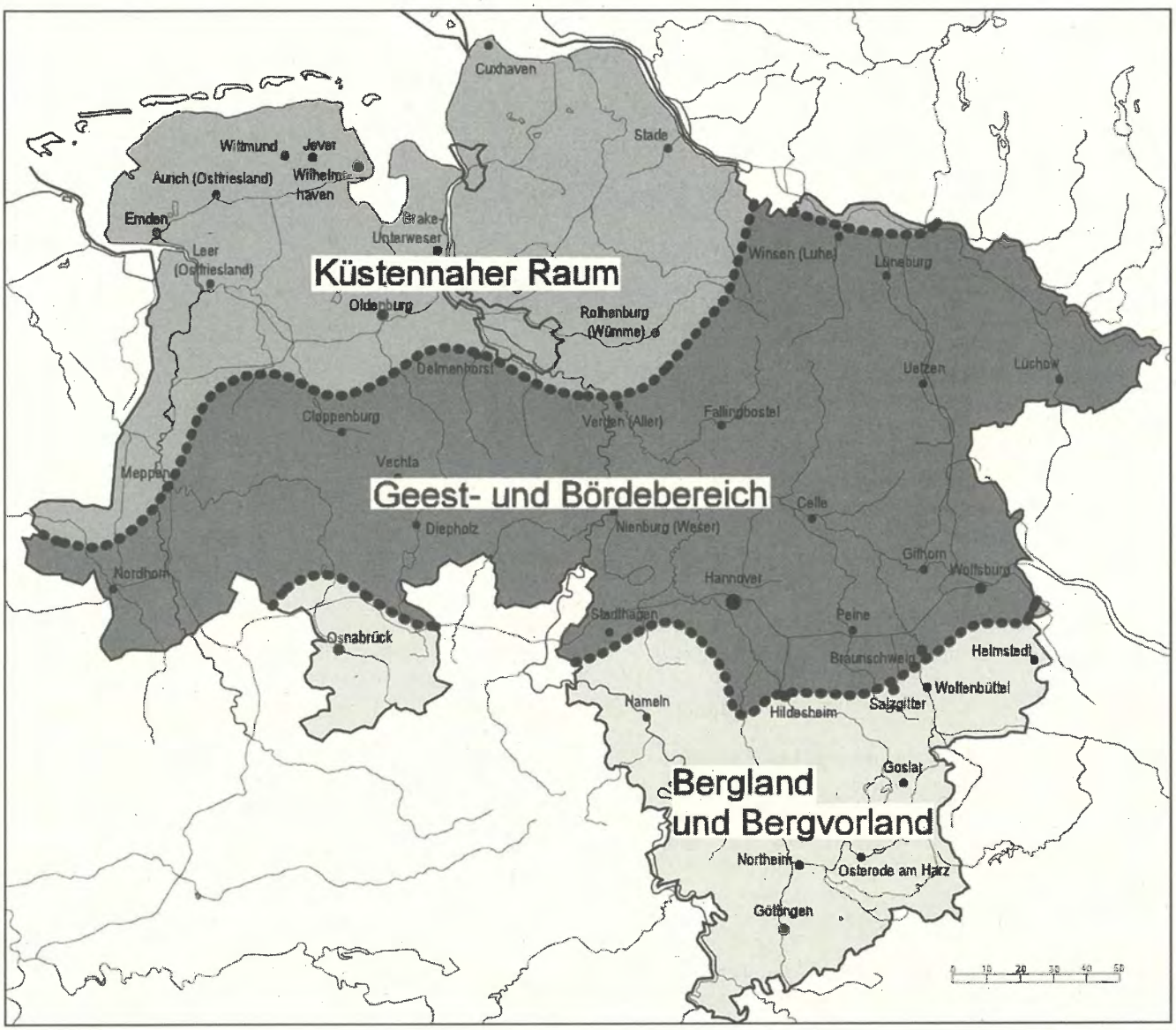


Abb. 14: Die drei klimaökologischen Regionen in Niedersachsen. Es sind großräumige Gebiete mit ähnlichen klimatischen und lufthygienischen Gegebenheiten, die fließend und allmählich ineinander übergehen. Als Grundlage für die Differenzierung fungiert in erster Linie die Beeinflussung der bodennahen Luftaustauschbedingungen durch die Reliefverhältnisse bei allochthonen Wetter- und autochthonen (Strahlungs-) Wetterlagen (u. a. Windgeschwindigkeitsreduktion und -erhöhung, Häufigkeit und Intensität von Kaltluftströmungen und Inversionen). – Karte: NLÖ, Dez. Naturschutzinformation, Schader/Schwarz.

- die allgemeinen Austauschverhältnisse zu verschiedenen Luftbelastungsniveaus führen,
- die unterschiedlichen meteorologischen Rahmenbedingungen die Ausbildung autochthoner Luftaustauschprozesse zum Teil begünstigen, zum Teil aber auch unterdrücken,
- sich das lufthygienisch-bioklimatische Belastungspotenzial an der Siedlungsraumstruktur und Reliefsituation orientiert und
- autochthon gebildete, d. h. »landschaftsbürtige« Luftaustauschprozesse in Abhängigkeit von den Reliefverhältnissen und/oder der Überwärmungssituation entstehen.

Unter dem Gesichtspunkt der Planungsrelevanz lassen sich nach diesen Kriterien für Niedersachsen drei klimaökologische Regionen ausweisen (Abb. 14):

- Küstennaher Raum mit sehr hohem Austausch und sehr geringem Einfluss des Reliefs auf lokale Klimafunktionen,
- Geest- und Bördebereich mit relativ hohem Austausch und mäßiger Beeinflussung lokaler Klimafunktionen durch das Relief,
- Bergland und Bergvorland mit sehr differenziertem Reliefeinfluss auf die Klimafunktionen und lokalen Austauschbedingungen.

In diesen Räumen herrschen auch unterschiedliche allgemeine Klimabedingungen vor. Wichtiger sind aber die unterschiedlichen Gewichtungen beim lokalen klimaökologischen Prozessgeschehen. Die lokale Differenzierung der klima- und immissionsökologischen Prozesszusammenhänge wird von der Küste zum Bergland hin stärker und damit für die Bearbeitung des Schutzguts Klima/Luft wichtiger.

Die klimaökologischen Regionen dürfen nicht als flächenscharfe Einheiten verstanden werden. Es sind vielmehr Gebiete mit einer allgemeinen Umschreibung der klima- und immissionsökologischen Gegebenheiten, die fließend und allmählich ineinander übergehen.

4.2.1 Klimaökologische Region: Küstennaher Raum mit sehr hohem Austausch und sehr geringem Einfluss des Reliefs auf lokale Klimafunktionen

Charakteristik
- Ganzjährig gute Austauschbedingungen (»Küstenklima«).
- Mittlere Windgeschwindigkeit i. d. R. > 4 m/s und im Küstensaum sogar > 6 m/s (Abb. 3).
- Gefahr des häufigen Auftretens von Bereichen mit erhöhter Zugigkeit und Böigkeit.
- Geringe mittlere jährliche Immissionsbelastungen bei den wichtigsten Luftschadstoffen (Abb. 5).
- Allgemein gedämpfte mittlere jährliche Temperaturamplitude und erhöhte Niederschlagstätigkeit (Abb. 2 und 4).
- Seltenes Auftreten autochthoner, hier thermisch induzierter, Luftaustauschprozesse.
- Wichtigstes lokales Zirkulationssystem ist das Land- / Seewindsystem mit Reichweiten ins Landesinnere von durchschnittlich 10 – 20 km (KAUFELD 1979, Abb. 11).
- Kleinräumige, thermisch bedingte Austauschprozesse (Flur- und Strukturwinde) haben eine nachrangige Bedeutung und sind auf größere Städte beschränkt.
- Bereiche mit besonderen lokalklimatischen Bedingungen sind selten und an Dünen, Geesträndern und geschlossene Mulden mit nassen Böden gebunden.

Wegen der guten Austauschbedingungen sind bioklimatische Belastungssituationen selten und zudem wenig intensiv (mit Ausnahme des Windstresses). Lufthygienische Belastungen beschränken sich auf räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hohen Emissionen in Stadtstrukturen, die zur Abkopplung vom Strömungsfeld neigen (Straßenschluchten, Innenstädte).

Regionsspezifische klimaökologische Qualitätsziele
- Örtliche Verbesserung der Luftqualität (Abbau von Schadstoffbelastungen und Geruchsbelästigungen) im Bereich hoher Emissionen und reduzierter Austauschbedingungen in Wirkungs- und Erholungsräumen.
- Vermeidung von Bereichen mit erhöhter Zugigkeit und Böigkeit.
- Sichern und Verbessern des Windschutzes in Bereichen mit Windstress.

Folgerungen für die klima- und immissionsökologische Bearbeitung im LRP und LP
Die Schutzgüter Klima und Luft müssen nur in Ausnahmefällen bearbeitet werden. Solche Ausnahmefälle sind gebunden an bioklimatische und lufthygienische Belastungsschwerpunkte (Kap. 4.3.2.). Das jeweilige Untersuchungsgebiet kann dabei auf das engere Umfeld des Belastungsschwerpunktes begrenzt bleiben.

4.2.2 Klimaökologische Region: Geest- und Bördebereich mit relativ hohem Austausch und mäßiger Beeinflussung lokaler Klimafunktionen durch das Relief

Charakteristik
- Im Vergleich zum Küstenraum herabgesetzte Luftaustauschbedingungen durch die höhere aerodynamische Rauigkeit der Erdoberfläche und die größere Entfernung zur See.
- Mittlere Windgeschwindigkeiten liegen meist zwischen 3 und 5 m/s, wobei die höheren Werte nur im Geestrandbereich des westlichen Teils dieser Region auftreten (Abb. 3).
- Höhere Immissionsbelastungen bei den wichtigsten Luftschadstoffen vor allem in großen Städten (NLÖ 1998).
- Auftreten von Bereichen mit Windstress in Wirkungsräumen.
- Im Vergleich zum Küstenraum größere mittlere Temperaturschwankung im Jahresgang mit höheren Sommermaxima und leicht verminderten Niederschlägen (Abb. 2 und 4).
- Häufigeres Auftreten (geschätzter Anteil am Wettergeschehen mindestens 15 bis 25 %) und im Vergleich zur Küstenregion stärkere Ausprägung austauschschwacher Strahlungswetterlagen.
- Ausbildung von klimaökologisch relevanten autochthonen, d. h. landschaftsgebundenen Strömungssystemen.
- Im Flachrelief zum Teil weiträumige Entstehungs- bzw. Einzugsgebiete der Kalt- / Frischluft für autochthone Luftaustauschprozesse.
- Auftreten von einzelnen Flächen mit besonderen lokalklimatischen Bedingungen im Bereich von Erhebungen und Flusstälern (Beispiel: einzelne strahlungsbegünstigte Südhangzonen und windexponierte Geestrücken, Mulden mit Kaltluftseen).

Klima- und immissionsökologische Belastungssituationen entstehen in den größeren Siedlungsräumen und im Bereich bedeutender Emittenten (Hauptverkehrsstraßen, größere Industrie- und Gewerbebetriebe). Ungünstig können sich austauschmindernde Reliefflagen auswirken (z. B. Täler, Mulden usw.). Sie verstärken als »Immissionsfallen« die Luftbelastung.

Regionsspezifische klimaökologische Qualitätsziele
- Verbessern der Luftqualität (Abbau von Schadstoffbelastungen und Geruchsbelästigungen) im Bereich hoher Emissionen und reduzierter Austauschbedingungen in Wirkungs- und Erholungsräumen.
- Erhalten und Verbesserung der Wirksamkeit und Verminderung der Vorbelastung von Leitbahnen.
- Sichern von Kalt- / Frischluftentstehungsgebieten und Luftaustauschprozessen, die wichtige Wirkungsräume beliefern.
- Sichern und Verbessern der Durchlässigkeit der Übergänge zwischen Freifläche und Bebauung im Bereich wichtiger Ausgleichsströmungen.
- Vermeidung von Bereichen mit erhöhter Zugigkeit und Böigkeit in Siedlungen.
- Sichern und Verbessern des Immissions- und Windschutzes in Wirkungs- und Erholungsräumen.
- Sichern und Entwickeln der für ein spezifisches Lokalklima erforderlichen Strukturmerkmale und beeinflussenden Prozesse in den dafür besonders geeigneten Einzelbereichen.

Folgerungen für die klima- und immissionsökologische Bearbeitung im LRP und LP
In dieser Region ist eine gezielte Bearbeitung von Teilräumen und ausgewählten Aspekten angezeigt. Der Einzelfall bestimmt, in welchen Teilräumen und in welchem Umfang der Komplex Klima / Lufthygiene zu bearbeiten ist. Eine vertiefte Bearbeitung der oft wenigen relevanten Räume erbringt besser umsetzbare Aussagen als eine allgemeine und deshalb oft diffuse Charakterisierung der ganzen Fläche. Die zu bearbeitenden

Räume lassen sich mit Hilfe der Entscheidungsschlüssel (Kap. 4.3.2) ermitteln. Die jeweilige Bearbeitungstiefe wiederum (Kap. 5) sollte vor allem auf das lufthygienische Belastungspotenzial abgestimmt werden.

4.2.3 Klimaökologische Region: Berg- und Bergvorland mit sehr differenziertem Reliefeinfluss auf die Klimafunktion und lokalen Austauschbedingungen

Charakteristik

- Mittlere Windgeschwindigkeiten mit Ausnahme der Kuppen- und Kammlagen deutlich reduziert (Jahresmittel < 4 m/s).
- Große Unterschiede im Windfeld: Im Bereich windexponierter Kuppen- und Hanglagen, wie z. B. im Harz, liegen die Jahresmittel der Windgeschwindigkeit bei über 4 m/s bis 6 m/s. Innerhalb der großen Talzüge gehen die Werte auf 2 - 3 m/s zurück (Abb. 3).
- Höhere Immissionsbelastungen bei den wichtigsten Luftschadstoffen vor allem in Städten in Tallagen (NLÖ 1998).
- Der Jahresgang der Lufttemperatur zeichnet sich durch Winterkälte (Mitteltemperatur im Januar liegt unter bis wenig über 0°C) und relativ hohe Sommertemperaturen aus.
- Relativ hohe Niederschlagssummen durch Stau- und Steigungsregen von über 750 mm/Jahr bis hin zu 1200 mm/Jahr (Abb. 2).
- Relativ häufiges Auftreten autochthoner Luftaustauschprozesse durch stark reduzierte Austauschbedingungen in Teilräumen und durch verstärkte Ausprägung austauschschwacher Strahlungswetterlagen.
- Das autochthone Luftaustauschgeschehen wird vor allem durch die orographisch induzierten Strömungen (Hang- und Talabwinde) gesteuert.
- Sehr große Kalt-/ Frischlufteinzugsgebiete der komplexen Talabwindsysteme.
- Häufiges Auftreten von Standorten mit besonderen lokalklimatischen Bedingungen in Hang-, Kuppen- und Talbodenbereichen.

Infolge der klimatischen und orographischen Rahmenbedingungen weist diese klimaökologische Region das höchste bioklimatisch-lufthygienische Belastungspotenzial auf. In Becken- und Tallagen kann es durch die erhöhte Inversionsneigung schon bei geringeren Siedlungsgrößen und relativ wenigen Emissionen zu lufthygienischen Belastungen kommen. Das klimaökologische Prozessgeschehen ist hier allgemein besonders differenziert, d. h. verschiedene Kaltluftströmungen mit zum Teil umfangreichen Einzugsgebieten prägen den Ausgleichsraum. Durch dieses umfangreiche Ausgleichspotenzial können in dieser Region die lokalen Klimabedingungen und die Luftqualität durch die Landschaftsplanung besonders stark beeinflusst werden. Gegenüber dem küstennahen Raum sowie der Geest und Börde sind zudem die Häufigkeit des Auftretens und die Ausprägung austauschschwacher Wetterbedingungen deutlich erhöht.

Regionsspezifische klimaökologische Qualitätsziele

- Verbessern der Luftqualität (Abbau von Schadstoffbelastungen und Geruchsbelästigungen, Immissionsschutzmaßnahmen) in Bereichen mit reduzierten Austauschbedingungen in Wirkungs- und Erholungsräumen.
- Erhalten und Verbessern der Wirksamkeit von Leitbahnen und Verminderung ihrer Vorbelastung vor allem für die orographisch bedingten Kaltluftabflüsse.
- Sichern wichtiger Kalt- / Frischluftentstehungsgebiete.
- Sichern und Verbessern der Durchlässigkeit der Übergänge zwischen Freifläche und Bebauung.
- Erhaltung der zum Teil großen mikroklimatischen Vielfalt und von Bereichen mit seltenen Mikroklimaten (steile Südhänge, extreme Schattenlagen in tief eingeschnittenen Tälern usw.).

Folgerungen für die klima- und immissionsökologische Bearbeitung in der Landschaftsplanung

In dieser Region sollten die Schutzgüter Klima und Luft breit berücksichtigt und entsprechend differenziert bearbeitet werden. Die Untersuchungsräume leiten sich aus den Entscheidungsschlüsseln (Kap. 4.3.2) ab. Die Bearbeitung erstreckt sich also auch hier nicht unbedingt über die ganze Fläche. Generell fallen die Untersuchungsräume aber größer aus, so dass sich ein dichtes und eher großflächiges Mosaik von Ausgleichs- und Wirkungsräumen ergibt. Entsprechend treten die klima- und immissionsökologisch relevanten Elemente in den Plänen vielfach auf.

4.3 Einstieg ins Plangebiet: Bestimmung der für die Bearbeitung relevanten Räume

Aus der Beschreibung der drei klimaökologischen Regionen Niedersachsens geht hervor, dass klimatische und/oder lufthygienische Belastungen aufgrund der makroklimatischen Rahmenbedingungen und der meist lokal konzentrierten Emissionen nicht flächendeckend auftreten. Daraus ergibt sich eine wichtige Folgerung für die Landschaftsplanung: das Problemfeld Klima / Lufthygiene muss in der Regel nur auf Teilflächen bearbeitet werden. Undifferenzierte flächendeckende Aussagen sind wenig nützlich für die Integration der klimatisch-lufthygienischen Belange in den Planungsvollzug.

Die für die Bearbeitung relevanten Räume lassen sich über die vorherrschenden klima- und immissionsökologischen Zustände und Prozesse ermitteln. Es werden nur Phänomene betrachtet, die vom betreffenden Landschaftsraum und seinen Strukturen beeinflusst oder gesteuert werden und/oder dort Belastungen mit verursachen. Die das Prozessgeschehen und die klima- und immissionsökologische Zustände beeinflussenden Nutzungsstrukturen (u. a. Siedlungs-, Gewerbe-, Verkehrs- und vegetationsgeprägte Freiflächen), Emittentenstrukturen (Verkehrsmengen) und Reliefeinheiten (u. a. Reliefformen, Einzugsgebiete) lassen sich klar definieren und abgrenzen. Sie eignen sich deshalb als Kriterien zur Ausweisung der Bearbeitungsräume. Die im folgenden dargestellten Entscheidungsschlüssel arbeiten auf dieser Grundlage.

Die Devise lautet also: Konzentration auf die wesentlichen räumlichen und inhaltlichen Problembereiche im Plangebiet. Dadurch

- lässt sich die zu bearbeitende Planfläche reduzieren,
- werden nur nutzbare und umsetzbare Inhalte erzeugt,
- lassen sich Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung der klima- und immissionsökologischen Situation konkret benennen und
- können finanzielle und personelle Mittel gezielt eingesetzt werden.

4.3.1 Prinzip der Ermittlung der Bearbeitungsräume

Ausgangspunkt für die Bearbeitung sind klima- und immissionsökologische Qualitätsansprüche des Menschen an die Funktionen Wohnen und Erholen. Treten klimatische und/oder lufthygienische Belastungen in einem Plangebiet auf, sollten diese mindestens vermindert werden.

Aktuelle und potenzielle Belastungsgebiete sind also die entscheidenden Ausgangspunkte für die Ausweisung der Bearbeitungsräume. Ihnen können autochthone Luftaustauschprozesse aus Entlastungsgebieten zugeordnet werden, die sich positiv auf Klima und Luft auswirken, wenn sie relativ kühlere und/oder frischere Luft aus lufthygienisch unbelasteten Gebieten in die potenziellen Belastungsräume transportieren. Die Prozesse lassen sich über strukturelle Raummerkmale wie Flächennutzung in Verbindung mit Verkehrsdaten und Reliefkenngrößen verorten.

Grundlage für die Entscheidungsschlüssel zur Ausweisung der Bearbeitungsräume wie auch für die inhaltliche Bearbeitung der Schutzgüter Klima und Luft ist somit das Konzept der Wirkungs- und Ausgleichsräume (ZIMMERMANN 1984, 1988). Außerhalb dieses Gefüges können sich in den Freiflächen lokal und eng umgrenzt weitere relevante Bearbeitungsräume ergeben, wenn z. B. Flächen mit der Funktion »naturbezogene Erholung« an größere Emissionsquellen (Verkehrsstraßen, Gewerbe/Industrie und Landwirtschaft) angrenzen. Die Bereiche mit relevantem Belastungspotenzial lassen sich anhand der Methoden in den Kapiteln 11.2 und 11.3 ermitteln.

Die Ausweisung der Flächen erfolgt durch Entscheidungsschlüssel zur Ermittlung der Wirkungs- und Ausgleichsräume. Für die Anwendung der Schlüssel müssen die benötigten Informationen zu Oberflächenstruktur, Relief und zusätzliche Hilfsgrößen (z. B. Verkehrsmengen) zusammengestellt werden. Nähere Informationen zur Datenverfügbarkeit können den Kapiteln 6.3 und 7 entnommen werden. Grundlagen stellen die niedersächsische Gemeindestatistik (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK 1998), die Biotoptypenkarte, der Flächennutzungsplan und topographische und/oder orohydrographische Karten (zur einfachen Auffindung von Tiefenlinien und Wasserscheiden) dar. Die Schaffung einer digitalen Datengrundlage zur Flächennutzung und zum Relief, besonders unter Verwendung bestehender digitaler Daten (ATKIS, DGM), ist aufgrund der benötigten Flächenbilanzen und Reliefparameter auch schon zu diesem Zeitpunkt sinnvoll. Diese Informationen werden später bei der Beschreibung und Bewertung der klima- und immissionsökologischen Zustände und Funktionen wieder benötigt.

Die in den Entscheidungsschlüsseln angegebenen Schwellenwerte sind als Orientierungswerte zu interpretieren. Sie resultieren aus eigenen statistischen Auswertungen aus dem niedersächsischen Raum und dem Umland von Frankfurt (MOSIMANN et al. 1992a, 1992b, 1995, HERGERT et al. 1993, UMLANDVERBAND FRANKFURT 1994) und aus der Literatur (u. a. STADT MÜNSTER 1992, BECKRÖGE 1990, STÜLPNAGEL 1987, BRÜNDL et al. 1986). Im Einzelfall können Anpassungen an das jeweilige Plangebiet erforderlich oder sinnvoll sein.

Mit den beiden Entscheidungsschlüsseln lassen sich die Räume festlegen, in denen der Aspekt Klima/Luft bearbeitet werden sollte. Gleichzeitig wird damit auch der inhaltliche Untersuchungsrahmen grob abgesteckt.

4.3.2 Die Entscheidungsschlüssel zur Ermittlung der Wirkungs- und Ausgleichräume

Entscheidungsschlüssel »Wirkungsraum«

Als Wirkungsräume kommen bebaute Areale mit einer aktuellen oder potenziellen lufthygienischen und/oder bioklimatischen Belastung in Betracht. Eine potenzielle Belastungssituation wird auf dieser Bearbeitungsstufe zunächst über Parameter zur Bebauungs- und Nutzungsstruktur erfasst (Kap. 7.1). Der Verfahrensablauf zum Auffinden der Wirkungsräume geht aus Abb. 15 hervor. Im einzelnen sind zu prüfen:

- Flächenausdehnung der Siedlung/des Stadtteils.
- Anteil der zur Überwärmung neigenden Flächen an der Gesamtfläche des bebauten Gebietes. Die benötigten Eingangsdaten können aus der Flächenerhebung der niedersächsischen Gemeindestatistik übernommen werden (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK 1998). Der Anteil der zur Überwärmung neigenden Flächen dient als Hinweis auf eine mögliche bioklimatische Belastung und zur Verortung von thermisch induzierten Austauschströmungen. Oberflächenstrukturen mit Überwärmungstendenz sind (Kap. 10.1):
  - Block- und Blockrandbebauung,
  - verdichtete Zeilenbebauung,
  - Hochhausbebauung,
  - Zentrum, Stadtteilzentrum,
  - Industrie und Gewerbeflächen sowie
  - verdichtete Gemeinbedarfsflächen.
- Prozentualer Anteil der Industrie- und Gewerbeflächen sowie Verkehrsmengen als Indikatoren für eine potenzielle lufthygienische Belastung.
- Mulden- oder Tallage. Diese Reliefformen neigen generell zu reduziertem Austausch und bei Strahlungswetter zu stabilen Schichtungsverhältnissen. In diesen Relieflagen können somit auch bei relativ geringen Emissionen Belastungssituationen entstehen.

Der Entscheidungsschlüssel gilt nur für die klimaökologischen Regionen Geest und das Berg- und Bergvorland. Nur dort entwickeln sich autochthone Austauschprozesse in planungsrelevanter Größenordnung.

In der küstennahen, allgemein gut durchlüfteten Region ist das Problemfeld Klima/Lufthygiene nur im Ausnahmefall und dann räumlich begrenzt zu bearbeiten:

- Größere Siedlungsräume mit über 50.000 Einwohnern.
- Bereiche mit klima- und immissionsökologisch wichtigen Emissionsquellen:
  - Straßen (in oder außerhalb von Siedlungsräumen) mit einer Verkehrsmenge > 10.000 Kfz pro Tag.
  - bedeutende Einzelemittenten aus den Bereichen Industrie/Gewerbe und Landwirtschaft (Kap. 11.2.2).

Wenn potenzielle Wirkungsräume im Plangebiet des LRP oder LP lokalisiert werden, können die dazugehörigen klima- und immissionsökologischen Ausgleichsräume folgendermaßen ermittelt werden.

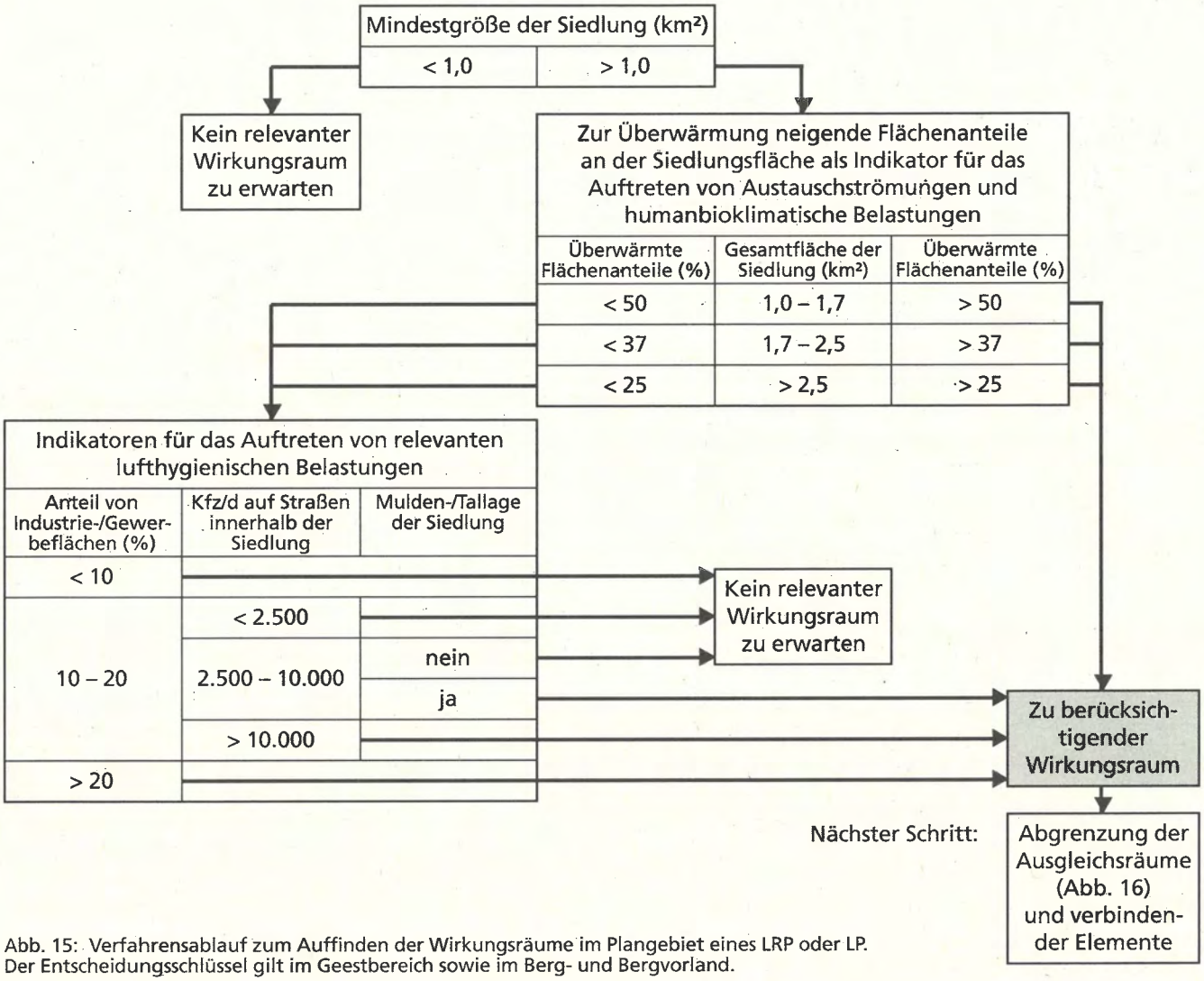


Abb. 15: Verfahrensablauf zum Auffinden der Wirkungsräume im Plangebiet eines LRP oder LP. Der Entscheidungsschlüssel gilt im Geestbereich sowie im Berg- und Bergvorland.

Entscheidungsschlüssel »Ausgleichsraum«

Alle größeren vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und innerhalb eines ausgewiesenen Wirkungsraumes können eventuell die Funktion von Ausgleichsräumen und/oder verbindenden Elementen erfüllen. Mindestanforderungen an die in die Untersuchung zu integrierenden Ausgleichsflächen sind (Abb. 16):

- direkter Kontakt zwischen den vegetationsgeprägten Flächen und dem Wirkungsraum und/oder Anbindung über Leitbahnen.
- Mindestgröße der vegetationsbestandenen Freifläche von 0,1 km² (unabhängig von der Art des Bewuchses).

Zur Bestimmung der äußeren Begrenzung der Ausgleichsräume muss zusätzlich analysiert werden, welche landschaftsgesteuerten Luftaustauschprozesse auftreten können. Es sind dabei rein thermisch bedingte von hauptsächlich orographisch induzierten Austauschsystemen zu unterscheiden (Kap. 2.3.3). Sie dehnen sich unterschiedlich weit aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass thermisch bedingte Ausgleichsströmungen eine maximale Ausgleichsdistanz (= Abstand der potenziellen Ausgleichsfläche zum äußeren Rand des Siedlungsraumes) von etwa 2 km aufweisen (MOSIMANN et al. 1992a, 1995). Orographisch bedingte Strömungssysteme können räumlich weiter ausgreifen. Die Abgrenzung ist hier von der Reliefsituation abhängig und richtet sich nach den zugehörigen Einzugsgebieten.

In der klimaökologischen Region Berg- und Bergvorland kommen dabei Ausgleichsdistanzen von mehr als 10 km vor (WERNER 1979).

Hang- und/oder Talabwindsysteme bilden sich ab einer Mindestneigung von 1° (u. a. OKE 1987) und einer Mindestfließstrecke von über 400 m aus (HAENEL 1988).

Die weitere Konkretisierung der äußeren Abgrenzung der Ausgleichsräume ergibt sich wie folgt:

- Thermisch induzierte Flurwinde: Kaltluftproduktivität der mit unterschiedlichen Vegetationsbeständen ausgestatteten Freiflächen in Abhängigkeit von der Flächengröße. Daraus lässt sich eine maximale Ausgleichsdistanz von 1 bis 2 km von der Wirkungsraumgrenze entfernt festlegen.
- Orographisch bedingte Kaltluftströmungen: Anwendung des Wasserscheidenprinzips, d. h., solange das Gefälle mit einer Neigung von > 1° auf den Wirkungsraum ausgerichtet ist, sind die Flächen als Einzugsgebiete den zu bearbeitenden Ausgleichsräumen zuzuordnen.

Mit der Abgrenzung der Ausgleichsräume einschließlich der Leitbahnen, die sie mit den Wirkungsräumen verbinden, ist das zu bearbeitende Untersuchungsgebiet für die Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge festgelegt.

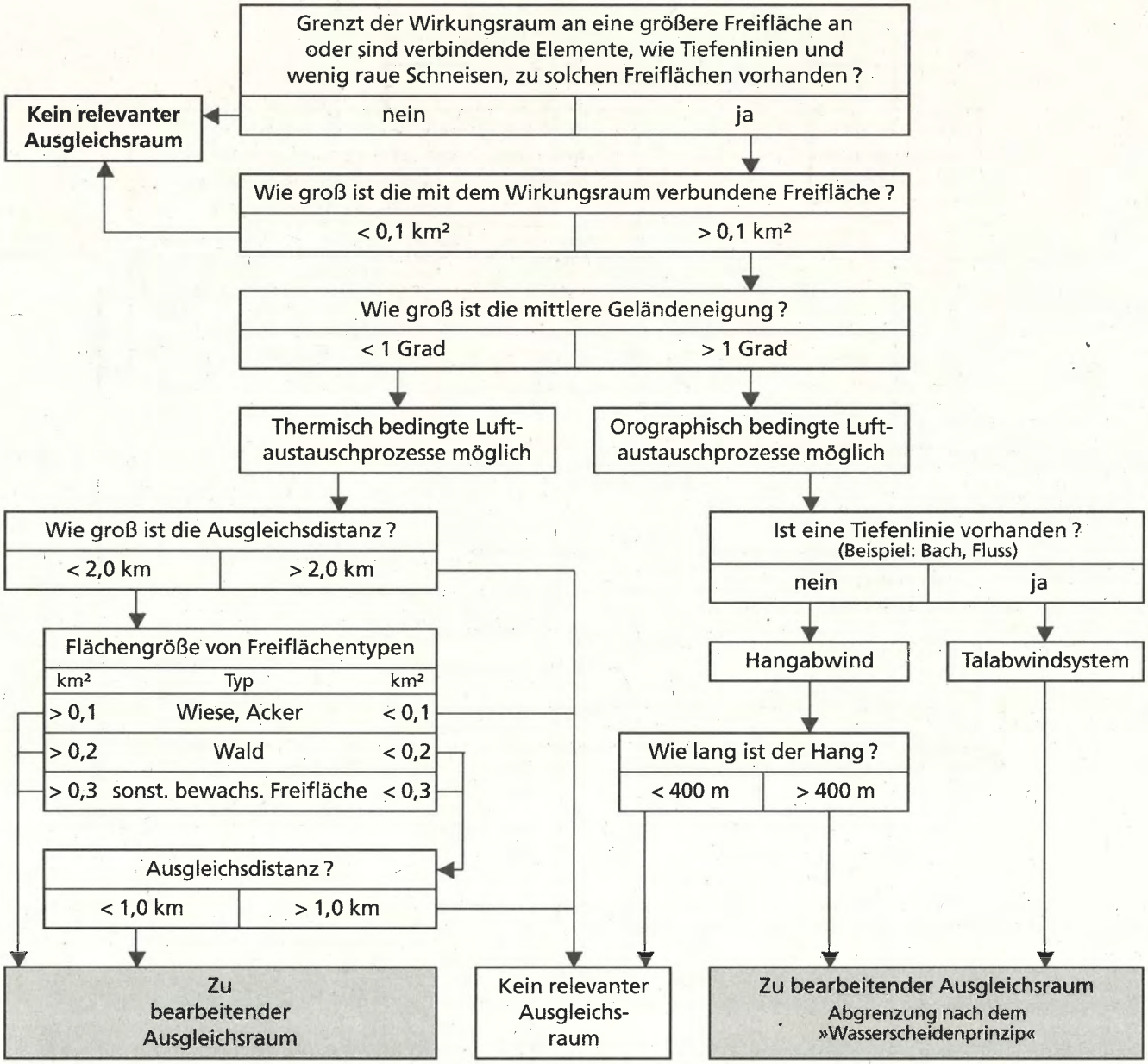


Abb. 16: Verfahrensablauf zur Abgrenzung der potenziellen Ausgleichsräume im Plangebiet eines LRP oder LP. Der Entscheidungsschlüssel gilt im Geestbereich sowie im Berg- und Bergvorland.

Teil B

5 Methoden zur Bearbeitung klima- und immissionsökologischer Fragestellungen in der Landschaftsplanung

Die nachfolgenden Kapitel bieten eine Übersicht der Datengrundlagen, Verfahren, Methoden und Modelle, die eine Erarbeitung der im LRP und LP auszuweisenden klima- und immissionsökologischen Elemente (Kap. 3) ermöglichen. Die Methoden lassen sich zwei Bearbeitungstiefen zuordnen, die sich durch ihre Anforderungen an die Datenlage, den Grad der Quantifizierung sowie der räumlichen Differenzierung der Aussagen unterscheiden (Tab. 3).

Der eigentlichen Bearbeitung, für die in den nachfolgenden Kapiteln die Methoden zusammengestellt werden, ist die Ermittlung der Bearbeitungsräume im Plangebiet und der inhaltlichen Schwerpunkte vorgeschaltet (Kap. 4). Durch die gezielte Analyse der Schutzgüter Klima und Luft im Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge lässt sich der Arbeitsaufwand im LRP oder LP stark reduzieren. Die zu bearbeitenden Räume werden durch diesen Schritt i. d. R. auf 10–70 % des Plangebietes begrenzt. In Gehrden (Landkreis Hannover) waren dies zum Beispiel etwa 15 % des Plangebietes (HEBBELMANN 1994) und in der Stadt Braunschweig etwa 60 % des Stadtgebietes (MOSIMANN et al. 1992b).

Tabelle 3 stellt die in den Kapiteln 6–14 beschriebenen Methoden zur Analyse der klima- und immissionsökologischen Situation in einer Übersicht zusammen. Es werden nur Methoden vorgestellt, die in der Praxis der Landschaftsplanung eingesetzt werden können. Die vorgeschlagenen Methoden sollten relativ einfach und allgemein anwendbar sein. Die Verfahren müssen aber auch eine diesem Zweck entsprechende Differenzierung und Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Zustände und Prozesse gewährleisten. Die Tabellen schließen deshalb auch Analysen ein, die nicht in Eigenregie durchführbar sind, sondern an spezialisierte Büros vergeben werden müssen.

Es lassen sich zwei unterschiedliche Bearbeitungstiefen unterscheiden:

- **Einfache, überwiegend qualitative Schätz- und Einstufungsverfahren:** Verfahren, die aufgeführt werden, kommen in der Regel mit einem minimalen klimatischen und lufthygienischen Datensatz aus. Es handelt sich um einfach anzuwendende Kartiermethoden, Einstufungstabellen, Schlüssel und Schätzverfahren. Diese gewährleisten eine qualitative Flächenbewertung unter immissionsökologischen und bioklimatischen Gesichtspunkten.

  Diese Verfahren stellen wegen ihrer allgemeinen Anwendbarkeit die methodische Mindestanforderung an die Bearbeitung des Komplexes Klima/Luft im LRP und LP dar. Die jeweiligen planrelevanten klimatisch-lufthygienischen Inhalte sollen also auf jeden Fall auf diesem Standard bearbeitet werden.
- **Komplexe Schätzverfahren und empirisch-statistische Modelle:** Komplexere Schätzverfahren und Bewertungsrahmen sowie einfach anwendbare empirisch-statistische Modelle benötigen ein Mindestmaß an Messwerten zu Klima- und Lufthygienegrößen. Sie lassen qualitative und quantitative Bewertungen zu. Zur Verbreiterung der Datenbasis bzw. zur Verifizierung von Schätzergebnissen kann es sinnvoll sein, zusätzliche Messungen im Gelände durchzuführen. Außerdem beinhalten einige Modelle einen Prognosebaustein, um Auswirkungen von Flächennutzungsänderungen abzuschätzen.

  Der Einsatz von solchen Methoden ist gerechtfertigt, wenn eine klimatisch-lufthygienische Problemstellung eine höhere Aussagegenauigkeit erfordert, weil eine konkrete Gefährdung für ein klima- und immissionsökologisches Qualitätsziel besteht und/oder Prognosen benötigt werden. Komplexere Methoden sollten aber erst zum Zug kommen, wenn sich das Problem eindeutig benennen und räumlich eingegrenzen lässt.

  Nummerische und physikalische Modelle sind für die Eigenbearbeitung nicht geeignet und in der Praxis der Landschaftsplanung i. d. R. auch nicht erforderlich. Sie stellen zu hohe Ansprüche an die EDV-Ausstattung, sind meist nicht bis zur Vertriebsreife entwickelt und werden zum Teil auch von den Modellentwicklern nicht weitergegeben (KERSCHGENS 1988 und LÖBEL 1993; LUDES & LÖBEL 1994). Selbst beim Einsatz kommerziell verfügbarer Modelle ist es notwendig, für die richtige Anwendung und die Interpretation der Ergebnisse Fachleute heranzuziehen. Die Modelle eignen sich für die Vertiefung einzelner Fragestellungen, wenn sich besonderer Problemdruck und/oder außergewöhnliche Belastungssituationen abzeichnen. Nummerische und physikalische Modelle können in der Planung aber erst auf der Stufe einer verbindlichen Bauleitplanung bzw. im Rahmen einer UVP lohnend eingesetzt werden. Erst wenn der Planungsprozess so weit fortgeschritten ist, dass sich die klima- und immissionsökologischen Fragen präzise stellen und räumlich eingrenzen lassen, kommen die Stärken dieser Modelle zum Tragen.

In den folgenden Kapiteln können in der Regel nur das Prinzip der jeweiligen Methode, ihr Gültigkeitsrahmen sowie Probleme bei der Anwendung benannt und erläutert werden. Für den Einsatz des Verfahrens ist es unumgänglich, sich in der entsprechenden Originalliteratur bzw. weiterführenden Quellen kundig zu machen.

Fazit

Aus dem in zwei Bearbeitungstiefen gegliederten Methodenpaket soll ein problemorientiertes Untersuchungskonzept zur Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen in einem Plangebiet zusammengestellt werden. Dabei geht es um folgende Punkte:

- Das Untersuchungskonzept und die damit verbundene Bearbeitungstiefe lässt sich an die herrschende Belastungssituation, d. h. die Problemlage im jeweiligen Gebiet anpassen. Je deutlicher und klarer das Problem und die Handlungsmöglichkeiten und je höher die immissionsökologische und/oder bioklimatische Belastung sind, desto differenzierter sollte die Bearbeitung und damit die Wahl der Methoden erfolgen.

Tab. 3: Methoden zur Erarbeitung der im LRP bzw. LP darzustellenden klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente

Klima- und immissionsökologisch wichtige Elemente für den LRP u. LP (gemäß Kap. 3)	Bearbeitungstiefe im Rahmen eines Landschaftsrahmenplans oder Landschaftsplans	
	Einfache Schätz- und Einstufungsverfahren — Mindestanforderung an die Bearbeitung des Komplexes Klima/Lufthygiene	Vertiefung und Konkretisierung mit Hilfe empirisch-statistischer Modelle und komplexer Schätzverfahren
Bioklimatisch belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmungen	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Ableiten der potenziell überwärmten Bereiche aus den Siedlungsstrukturtypen (Kap. 10.1) ■ Charakterisierung der Luftaustauschbedingungen über vorhandene Windstatistiken (Kap. 10.4.1) ■ Qualitative Beschreibung der Luftaustauschbedingungen verschiedener Relieftypen und Oberflächenstrukturen (Kap. 10.4.2)	■ Messfahrten zum Temperaturfeld (Kap. 8.1) ■ Ableitung der Überwärmungsintensität aus Messungen (Kap. 10.1) ■ Abschätzung der bioklimatischen Situation (Kap. 10.2) ■ Abschätzung bodennaher Durchlüftungsverhältnisse (Kap. 10.4.3) ■ Ermittlung der Kaltluftsammelgebiete aus Messfahrten (Kap. 10.3) ■ Empirisch-statistische Modellierung der Minimumtemperatur (Kap. 10.3)
Lufthygienisch belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmungen	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Umsetzung von vorhandenen Lufthygienedaten (Kap. 11.1) ■ Abschätzung von Verkehrsemissionen (Kap. 11.2.1) ■ Ermittlung von bedeutsamen Emittenten aus der Quellgruppe Industrie/Gewerbe (Kap. 11.2.2) ■ Ableiten der Immissionssituation aus den Oberflächenstrukturen (Kap. 11.3.1)	■ Ausweisung von Bereichen ähnlicher Immissionen auf der Grundlage von TA-Luft-Messungen (Kap. 11.3.2)
Kalt-/Frischluftentstehungsgebiete	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Einstufung der Kaltluftproduktivität nach den klimaökologisch relevanten Flächeneinheiten bzw. den Biotoptypen (Kap. 12.1) ■ Abgrenzung von potenziellen Liefergebieten für Flurwinde (Kap. 13.2)	■ Messfahrten zum Temperaturfeld (Kap. 8.1) ■ Quantitative Abschätzung der Kaltluftproduktivität von Freiflächen (Kap. 12.2) ■ Empirisch-statistische Modellierung der geländeabhängigen Minimumtemperaturen (Kap. 10.3)
Leitbahnen für lokalen Luftaustausch	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Berechnung der Massenströme von Hang- bzw. Talabwindsystemen (Kap. 13.1.1) ■ Abgrenzung von potenziellen Liefergebieten für Flurwinde (Kap. 13.2) ■ Abgrenzung von Luftleitbahnen (Kap. 13.3) ■ Quantitative Abschätzung der Reichweiten von Kaltluftabflüssen (Kap. 13.4.) ■ Abschätzung der Hinderniswirkung von Austauschbarrieren (Kap. 13.5)	■ Messfahrten zum Temperaturfeld (Kap. 8.1) ■ Stationäre Messnetze (Kap. 8.2) ■ Traceruntersuchungen (Kap. 8.3) ■ Ermittlung der Bereiche mit Kaltluftabfluss nach dem Verfahren des DWD (Kap. 13.1.2) ■ Quantitative Ermittlung der Reichweiten von Kaltluftströmungen (Kap. 13.4.2)
Bereiche und Objekte mit zu verbessernder Durchlässigkeit für lokale Ausgleichsströmungen	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Abgrenzung von potenziellen Liefergebieten für Flurwinde (Kap. 13.2) ■ Abgrenzung von Luftleitbahnen (Kap. 13.3) ■ Quantitative Abschätzung der Reichweiten von Kaltluftabflüssen (Kap. 13.4.1) ■ Abschätzung der Hinderniswirkung von Austauschbarrieren (Kap. 13.5)	
Wälder mit Immissionsschutzfunktion	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Ermittlung der lufthygienischen Situation im Plangebiet (Kap. 11) ■ Charakterisierung der Luftaustauschbedingungen über vorhandene Windstatistiken (Kap. 10.4.1) ■ Ausweisung filterwirksamer Pflanzenbestände über Struktur- und Lageeigenschaften (Kap. 14)	■ Abschätzung der Luftregenerationsfunktion von Wäldern (Kap. 14)
Gehölzstreifen mit Immissionsschutzfunktion	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Ermittlung der lufthygienischen Situation im Plangebiet (Kap. 11) ■ Abgrenzung filterwirksamer Pflanzenbestände über Struktur- und Lageeigenschaften (Kap. 14)	
Gehölzstrukturen mit Windschutzfunktion	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Charakterisierung der Luftaustauschbedingungen über vorhandene Windstatistiken (Kap. 10.4.1) ■ Ermittlung der Windfeldbeeinflussung durch Gehölze (Kap. 10.4.1)	
Klimaökologische Komforträume/-inseln	■ Erfassung der Struktureinheiten (Kap. 7.1) ■ Erfassung der Reliefstruktur (Kap. 7.2) ■ Ermittlung der lufthygienischen Situation im Plangebiet (Kap. 11) ■ Abgrenzung filterwirksamer Pflanzenbestände über Struktur- und Lageeigenschaften (Kap. 14) ■ Windfeldbeeinflussung durch Gehölze (Kap. 9) ■ Abgrenzung von klimaökologischen Komforträumen (Kap. 9)	

■ Für die Bearbeitung der einzelnen klima- und immissionsökologischen Prozesse oder Zustände werden Methoden mit unterschiedlicher Aussagegenauigkeit und entsprechend geringen oder höheren Anforderungen an die vorhandenen Eingangsdaten vorgestellt. Selbst wenn Klima- und Lufthygienedaten fehlen, ist eine Bearbeitung des Komplexes Klima / Lufthygiene mit Hilfe einfacher Einstufungen bzw. Abschätzungen möglich, die auf dem Zusammenhang zwischen Strukturparametern und klimatisch-lufthygienischen Größen beruhen. Sie liefern noch ausreichende Ergebnisse, um den Mindestanforderungen an die Bearbeitung im LRP und LP gerecht zu werden.

■ Das Untersuchungskonzept lässt sich nach den zu klärenden klima- und immissionsökologischen Zusammenhängen und nach dem möglichen finanziellen Aufwand differenziert zusammenstellen. Dadurch können auch bei beschränkten finanziellen Mitteln durch problemangepasste Schwerpunktsetzung handlungsorientierte Ergebnisse erarbeitet werden.

6 Bestehende Datengrundlagen

6.1 Meteorologische Daten

6.1.1 Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

Diese Stationsdaten existieren in hoher zeitlicher Auflösung und als statistische Auswertungen für ausgewählte Zeiträume wie Tages-, Monats- oder Jahresmittelwerte oder langjährige Messperioden von ≧ 10 Jahren (z. B. langjährige Windstatistik). Falls verfügbar, sollten möglichst 30-jährige Zeitreihen (1961–90) Verwendung finden. Welche Daten im Einzelfall benötigt werden, ergibt sich aus den Methoden und dem Stellenwert einer Beschreibung von allgemeinen Klimabedingungen im Plangebiet. Folgende Klimaelemente sind für die Bearbeitung am ehesten von Bedeutung:
- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchtigkeit,
- Bewölkungsgrad sowie
- Windrichtung und -geschwindigkeit.

Eine Übersicht über die Lage der Klima-, Wetter- und Windstationen gibt Abb. 17. Da das Stationsnetz generell Veränderungen unterworfen ist und z.Zt. außerdem in größerer Umstrukturierung begriffen ist, besteht von Seiten des DWD das Angebot, bei Zusendung einer Karte über das jeweilige Plangebiet die zur Verfügung stehenden, aussagekräftigen Stationen mit aktuellen 30-Jahr-Mittelwerten zusammenzustellen (Ansprechpartner: DWD Hannover-Langenhagen, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung). Es müssen jeweils im Einzelfall Standorte und die messtechnische Ausstattung der Stationen beim DWD erfragt werden. Auch nach Inhomogenitäten in Messreihen, wie sie z. B. durch Verlegung der Messstation entstehen, und der Repräsentanz der Station für den jeweiligen Untersuchungsraum sollte man sich erkundigen.

Weiterhin wird vom DWD ein Paket von klimatologisch relevanten Karten (Karten sind auch einzeln verfügbar) angeboten, das auf diesen Grundlagendaten und empirisch-statistischen Verfahren beruht. Es umfasst in der Regel Karten zur lokalklimatischen Situation, Durchlüftung, mittleren Jahreswindgeschwindigkeit, Windenergiepotenzial, Inversionshäufigkeit, Nebelstruktur / Sonnenscheindauer und bioklimatischen Situation. Erläuterungen zu den Karten, die für die Bearbeitung des Klimakomplexes genutzt werden können, enthalten die nachfolgenden Kapitel.

Vorteil der Klimadaten: Repräsentative, abgesicherte, quantitative Charakterisierung der Klimabedingungen an einem Standort.

Einschränkungen für die Anwendung: Stationsdichte gering. Methoden zur Regionalisierung der Daten stehen zur Zeit nur eingeschränkt zur Verfügung. Eine eigene Regionalisierung der Daten (vgl. ZIMMERMANN 1988) ist deshalb sehr aufwendig und in der Regel nicht zu leisten. Ersatzweise kann auf Datensätze des DWD zurückgegriffen werden, bei denen die Regionalisierung mit Hilfe empirisch-statistischer Verfahren (z. B.: GERTH 1986; GERTH & CHRISTOFFER 1994) durchgeführt worden ist.

Mit Hilfe von großmaßstäbigen Klimakarten des DWD (1 : 25.000, 1 : 50.000) kann der eigene Arbeitsaufwand bei der Datenerhebung reduziert werden. Es sollte aber im voraus festgelegt werden, welche Einzelkarten aus dem DWD-Paket für die spezielle Problemlage im jeweiligen Plangebiet benötigt werden. Karten im Maßstab 1 : 200.000 sind für die Ebene des LP sehr wenig aussagekräftig und können nur zur allgemeinen Charakterisierung des Plangebietes herangezogen werden. Zusätzlich ist zu bedenken:
- Einzelne Klimaparameter werden nur grob oder gar nicht aufgearbeitet (z. B. wird der orographisch bedingte Kaltluftabfluss nur in drei Stufen ohne Wertzuweisung dargestellt; zu thermischen Austauschströmungen fehlen Aussagen), und
- eine planungsrelevante Umsetzung für den LP oder LRP ist nicht gegeben.

Verfügbarkeit der Daten: Klimadaten in analoger oder digitaler Form und Klimakarten sind beim DWD zu unterschiedlichen Bedingungen erhältlich (Ansprechpartner: DWD Hannover-Langenhagen, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung). Für die Bearbeitung der LRP wird den Landkreisen eine Grundversorgung unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Sie umfasst die 30-jährigen Mittel der Klimaelemente mit Ausnahme der Windparameter auf Monatsbasis und Klimakarten zu den oben genannten einzelnen Parametern im Maßstab 1 : 200.000. Hier ist von Seiten des Auftraggebers nur eine Auslagenerstattung für EDV-, Arbeits-, Reisekosten usw. zu leisten. Weitere Daten und Karten für den LRP sowie sämtliche Grundlagen und Produkte für den LP sind gebührenpflichtig. Auf Basis einer konkreten Anfrage erarbeitet der DWD hierzu einen Kostenvoranschlag. Generell empfiehlt sich ein frühzeitiger Kontakt, da je nach Komplexität der angeforderten Daten und Karten der Zeitrahmen für die Bearbeitung mehrere Monate betragen kann.

Abb. 17: Klima- und Windstationen des DWD in Niedersachsen (Stand 09/1994). Zusammengestellt von den Autoren aus SEEDORF & MEYER (1992) und DWD (1995). – Karte: NLÖ, Dez. Naturschutzinformation, Schader/Schwarz.

■ Windstationen; ▲ Klima-/Wetterstationen

Messtermine, erhobene Parameter und Erhebungsart (aus DWD 1995):

Windstationen	Kontinuierliche Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsaufzeichnung (in der Regel zusätzlich zu anderen meteorologischen Parametern).
Klimastationen	Messtermine: 07.30, 14.30 und 21.30 MEZ. In der Regel nachts keine Beobachtungen. Parameter: – Bestimmung der Trocken- und Feuchttemperatur, der Höchst- und Tiefsttemperatur, des Dampfdrucks, der Feuchte, der Neu- und Gesamtschneehöhe (sofern vorhanden), der Temperatur im Erdboden und der Sonnenscheindauer; – Schätzung der Windrichtung und -geschwindigkeit, der Bewölkung und der Sichtweiten; – Messung der Niederschlagshöhen. Weitere, nicht termingebundene Parameter: Eintrittszeit, Intensität und Dauer von Regen, Schnee, Graupel, Hagel, Gewitter, Sturm, von abgelagerten Niederschlägen (z. B. Glatteis), Nebel und sonstige Wettererscheinungen.
Wetterstationen	Meist 24-stündige Erfassung und Aufzeichnung. Beobachtungsprogramm wie Klimastationen zuzüglich – Messung des Luftdrucks und der Bewölkung sowie – Bestimmung der Temperaturen im Erdboden. Stündliche, z. T. halbstündliche Erfassung und Aufzeichnung verschiedener meteorologischer Parameter (auch des Luftdrucks, der Windrichtung und Windgeschwindigkeit, markanter Böen, der Sichtweite sowie nachts der Feuersicht). Rund um die Uhr Beobachtungen von Wettererscheinungen (s. o.).

Allgemein und kostenfrei zugänglich sind nur die Daten zu den wichtigsten Klimaelementen, die in aggregierter Form und nicht vollständig in den
- monatlichen Witterungsberichten und
- täglichen europäischen Wetterberichten

veröffentlicht werden. Eine Zusammenstellung von Mittelwerten und mittleren Summen der wichtigsten Klimaelemente der niedersächsischen DWD-Stationen für die alte Bezugsperiode 1961 - 1990 befindet sich zudem in MÜLLER-WESTERMEIER (1996).

6.1.2 Meteorologische Daten aus der Luftüberwachung

Meteorologische Daten in hoher zeitlicher Auflösung liefert auch das Stationsnetz des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (Abb. 18). Generell verfügbare Klimaparameter sind Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Zusätzlich werden an ausgewählten Stationen auch Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit erfasst (Tab. A1 im Anhang).

Vorteil: Viele Stationen liegen in planungsrelevanten Räumen.

Einschränkungen für die Praxis: Stationsdichte gering. 30-jährige Zeitreihen liegen nicht vor. Urbane Oberflächen prägen in der Regel die Aufstellungsorte. Stationen mit Freilandcharakter sind selten. Soll eine Station in die Untersuchung eingebunden werden, muss man sich vor Ort ein Bild von der Umgebung machen (ausführliche Stationsbeschreibungen und Anmerkungen zum Stationsstandort in NLÖ 1998).

Verfügbarkeit der Daten: Klimadaten sind beim NLÖ zu beziehen. Datenweitergabe ist auch in digitaler Form möglich, u. a. von der Web-Seite des NLÖ im Internet (http://www.nloe.de).

6.1.3 Einzelne Klimadaten sonstiger Institutionen

Folgende Institutionen können über Klimamessdaten verfügen:
- Universitätsinstitute: z. B. Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover, Institut für Bioklimatologie der Universität Göttingen
- Stadtwerke und Energieversorger
- Kommunale Ämter: z. B. Fuhramt Hannover, Feuerwehr.

Welche Stationen im Plangebiet bestehen, ist über Anfragen an Naturschutz-, Umwelt- und Planungsämter

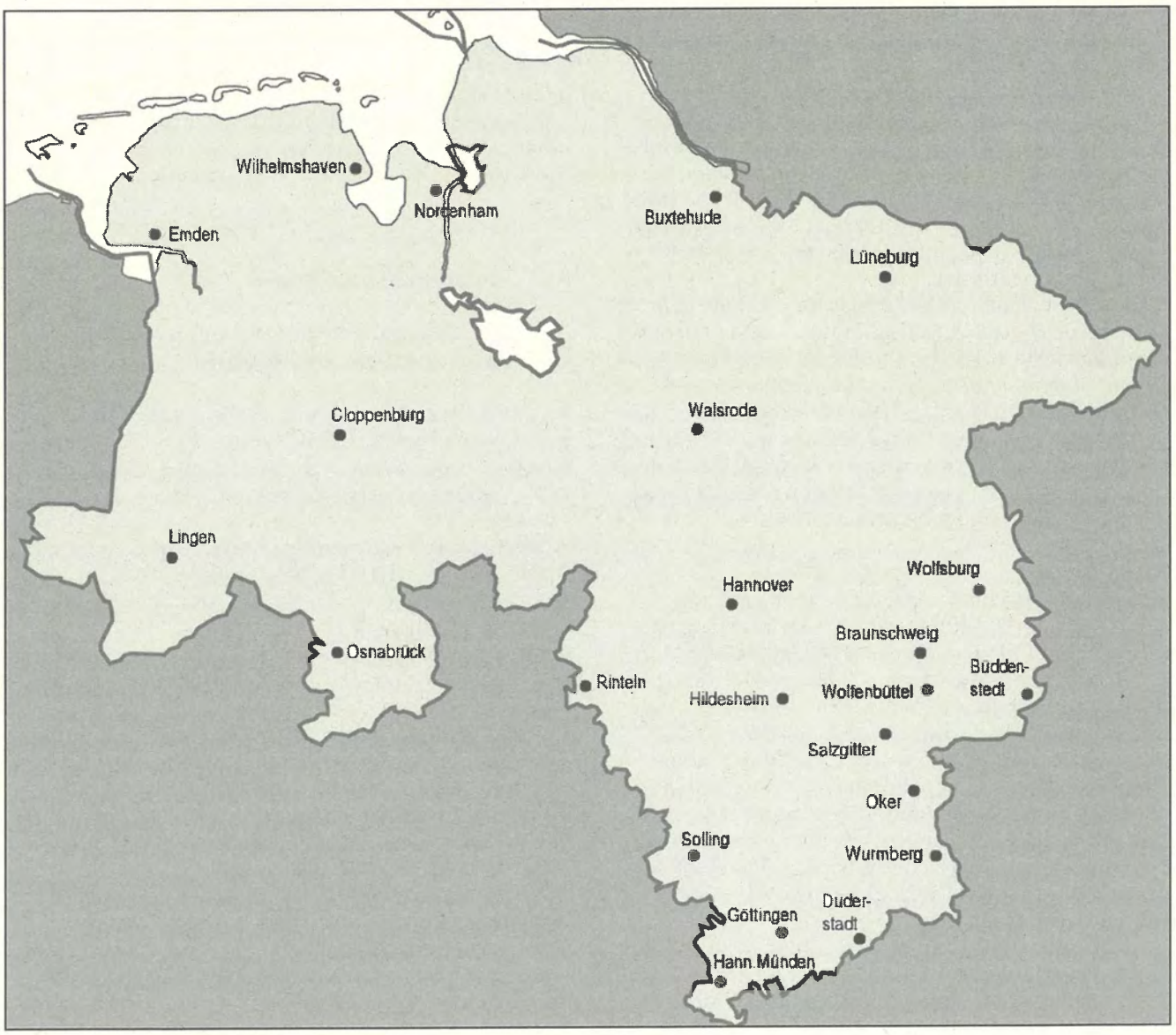


Abb. 18: Aufstellungsorte der LÜN-Stationen in Niedersachsen (aus: NLÖ 1998: 16; Karte graphisch überarbeitet durch NLÖ, Dez. Naturschutzinformation, Schader/Schwarz).

in Erfahrung zu bringen. Informationen zur Lage und Ausstattung der Stationen sowie Erhebung und Aufbereitung der Klimadaten müssen bei den Betreibern eingeholt werden, um die Verwendbarkeit der Daten zu prüfen. Hilfreich können diese Klimadaten vor allem auf der LP-Ebene für die Bearbeitung besonderer Fragen in städtischen Räumen sein. Sie können dort evtl. vorhandene Stationsdaten sinnvoll ergänzen. Oft sind sie die einzige bestehende stationäre Datenquelle.

Einschränkungen für die Praxis: Die Verwendung von Datensätzen unterschiedlicher Herkunft erfordert einen hohen Aufwand bei der Homogenisierung.

Verfügbarkeit der Daten: Die Zeitreihen sind überwiegend kurz und die Datenaufbereitung, z. B. die zeitliche Aggregierung, an die Problemstellung der erhebenden Institution angepasst. Die Nutzung der Daten kann mit einem erheblichen Bearbeitungsaufwand (Schnittstellenprogrammierung usw.) verbunden sein. Wenn Daten in digitaler Form vorliegen, werden sie zudem oft nur in temporäre Dateien abgelegt. Die Datenweitergabe ist in der Regel unproblematisch.

6.1.4 Klimakartenwerke

Klimaatlas von Niedersachsen
Der Klimaatlas von Niedersachsen (DWD 1964) und Deutscher Planungsatlas Band II: Niedersachsen und Bremen (AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG 1961) beinhalten flächendeckende Darstellungen im Maßstab 1 : 1.000.000 zu einzelnen Kenngrößen der Klimaelemente Windrichtung (eingeschränkt nutzbar, da z. T. Schätzungen), Lufttemperatur, relative Luftfeuchte usw. Außerdem wird eine Aufgliederung in einzelne Klimabezirke vorgenommen. Die Darstellungen beruhen auf den Daten der DWD-Stationen für die Periode 1881 - 1930 bzw. 1901 - 1950. Der Atlas stellt also Klimabedingungen der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts dar.

Einschränkungen für die Praxis: Die geringe zugrunde liegende Datendichte erlaubt nur eine sehr generalisierte Darstellung der einzelnen Klimaparameter. Zudem ist der Klimaatlas zum Teil methodisch und natürlich von den Eingangsdaten her veraltet. Auf der LP-Ebene können diese Karten kaum sinnvoll eingesetzt werden. Auf LRP-Ebene leistet der Klimaatlas beim Auffinden von Grenzen zwischen einzelnen klimaökologischen Regionen dagegen nützliche Dienste.

Bioklimakarte
Eine mesoskalige Bioklimakarte liegt im Maßstab 1 : 1.500.000 für die Bundesrepublik Deutschland (JENDRITZKY et al. 1990) und beim DWD im Maßstab 1 : 500.000 für Niedersachsen vor. Sie stellt die abschließende Bewertungskarte zum Bioklima dar und ist auf der Grundlage des fortgeschriebenen Klima-Michel-Modells des DWD erstellt worden. Großmaßstäbige Auswertungskarten für Niedersachsen oder planungsrelevante Karten für Teilräume (Maßstab 1 : 50.000 bis 1 : 25.000), wie sie im Rahmen der Landschaftsplanung benötigt werden (MENZ 1990), liegen nicht veröffentlicht vor. Sie können allerdings beim DWD erworben werden (siehe Punkt 6.1.1).

Einschränkungen für die Praxis: Diese Karte erlaubt eine erste, sehr grobe Einordnung der bioklimatischen Situation in Niedersachsen (Auftreten von Wärmebelastung und Kältereiz). Sie kann deshalb auf der Ebene des LRP zur orientierenden Ersteinschätzung herangezogen werden. Für differenziertere Aussagen auf LRP- oder LP-Ebene ist dieses Kartenwerk aufgrund des Maßstabes allerdings nicht geeignet.

6.1.5 Sonderuntersuchungen zu klimaökologischen Fragestellungen

Im niedersächsischen Raum gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Sonderuntersuchungen zu klimaökologischen Fragestellungen.
- Klimaanalysen existieren für größere und kleinere Städte (Hannover 1992, Braunschweig 1992, Göttingen 1989, Goslar-Oker 1988, Osnabrück 1987, Einbeck 1992 usw.).
- Im Rahmen von Planungsvorhaben und Genehmigungsverfahren (z. B. Deponien, Kraftwerke, Windenergieanlagen, Brückenbauwerke für Verkehrswege) werden laufend Analysen zu mikro- und mesoklimatischen Bedingungen und Prozessen durchgeführt.

Liegen solche Sonderuntersuchungen im Plangebiet vor, lohnt es sich immer, diese Quelle zu erschließen (unter Beachtung der Auftraggeberrechte). Solche Untersuchungen können für die Planung sehr interessante, raum- und problembezogene meteorologische Daten und Analysen des Prozessgeschehens in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung liefern. Die allgemeine Verwendbarkeit und die direkte Einbeziehung solcher Untersuchungsergebnisse sollte also auf jeden Fall geprüft werden.

Hinweise zu vorhandenen Gutachten und Sonderuntersuchungen sind am besten bei kommunalen Naturschutz-, Umwelt- und Planungsämtern zu bekommen.

6.2 Lufthygienische Daten

6.2.1 Immissionsdaten aus dem Lufthygienischen Überwachungssystem Niedersachsen

An den z. Zt. 27 Stationen des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN) werden folgende Schadstoffe gemessen (Abb. 18 und Tab. A1 im Anhang):
- 22 Stationen: Ozon, NO, NO_2, NO_x, Staub, SO_2 (z. T.) und z. T. CO
- 24 ehemalige Messstellen (Betriebszeitraum bis mind. Okt. 93): SO_2, NO, NO_2, NO_x, Staub, z. T. CO
- 5 Verkehrsstationen: ohne SO_2, zusätzlich Benzol, Toluol und Xylol, Ruß.

Zusätzlich gibt es eine Reihe von Ozon-Messstellen offline, die nur im Sommer betrieben werden (NLÖ 1999).

Einschränkungen für die Praxis: Die Aufstellungsorte sind darauf ausgerichtet, den Grundpegel der Immissionsbelastung der verschiedenen Räume zu erfassen. Belastungsspitzen durch lokale Quellen werden nur an den Verkehrsmessplätzen registriert (NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM 1992).

Verfügbarkeit der Daten: Datenweitergabe ist unproblematisch, schnell und auch in digitaler Form möglich (bisher kostenlos; auch über Internet unter http://www.nloe.de). Außerdem werden die Werte für die einzelnen Stationen in Jahresberichten und Sonderberichten zu langjährigen Messperioden in verschiedenen Regionen veröffentlicht (NLÖ 1987 ff., 1998).

6.2.2 Großräumige Immissionsuntersuchungen des NLÖ

Großräumige, rasterbezogene Immissionsuntersuchungen nach der TA-Luft sind in den letzten zwei Jahrzehnten in 27 Regionen Niedersachsens durchgeführt worden (Stand 1992, NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM 1993). Vorrangig wurden dabei Ballungs- und Industrieräume – zum Teil ausgerichtet auf einzelne Großemittenten – erfasst. Vor dem Hintergrund der Problematik der neuen Waldschäden sind in den 80er Jahren aber auch verschiedene Waldgebiete untersucht worden. Eine Übersicht zu Untersuchungsgebieten, Zeiträumen und Immissionskomponenten gibt Abb. A1 im Anhang.

Vorteil: Diese Messprogramme sind die am besten geeignete vorhandene Datengrundlage zur kleinräumigen Differenzierung der lufthygienischen Situation in Teilräumen Niedersachsens. Sie geben durch die Darstellung in einem im 1-km²-Raster räumlich gut differenzierte Immissionsfelder einzelner Luftbeimengungen wieder. Die besonderen Auswirkungen einzelner Emissionsquellen (Verkehr, Industrie/Gewerbe, Hausbrand) lassen sich mit Einschränkungen interpretieren.

Einschränkungen für die Praxis: Zum Teil liegen die Messprogramme so weit zurück, dass durch die zwischenzeitlich veränderten Emissionsverhältnisse die Ergebnisse nur noch mit Vorbehalt zu gebrauchen sind. Die Rasterdarstellung erlaubt nur eingeschränkt eine ursachenbezogene Interpretation der Immissionsfelder. Für weitergehende Interpretationen müssen die punktbezogenen Ursprungsdaten der Messprogramme herangezogen werden.

Verfügbarkeit der Daten: Rasterdaten werden vom NLÖ unproblematisch, schnell und auch in digitaler Form weitergegeben. Kosten fallen dabei z. Zt. noch nicht an. Über die Weitergabe der Ursprungsdaten der Messprogramme muss im Einzelfall mit dem NLÖ verhandelt werden.

6.2.3 Depositionsdaten des NLÖ

Das Messnetz umfasst zur Zeit 37 Standorte mit 45 Messplätzen, von denen 38 die Freilandsituation und 7 die Bestandssituation erfassen (NLÖ 1999b, Abb. A2).

Analysiert werden folgende Größen bzw. Elemente:
- Elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Basenkapazität
- Säurebildner: SO_2, NO_x, Cl^-
- Kationen: Na, Ca, Mg, K
- Schwermetalle: Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Hg, Cr.

Einschränkungen für die Praxis: Diese Punktdepositionsdaten eignen sich nur zur Beschreibung der mittleren Belastung in einem Gebiet. Von einer Verwendung im Rahmen von räumlich differenzierten Betrachtungen, d. h. über einen konkreten Messstandort hinausgehend, wird abgeraten, da der Wirkungszusammenhang Immission – Deposition nicht eindeutig ist.

Verfügbarkeit der Daten: Datenweitergabe, auch in digitaler Form, unproblematisch und unentgeltlich.

6.2.4 Immissions- und Depositionsdaten des TÜV Hannover / Sachsen-Anhalt

Eine Vielzahl großräumigerer Immissions- und Depositionsmessprogramme wurde vom TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt im Rahmen von Sonderuntersuchungen bei Genehmigungsverfahren (Umweltverträglichkeitsuntersuchungen usw.) bzw. kommunalen Messprogrammen in verschiedenen Regionen durchgeführt. Eine Liste ausgewählter Messprogramme befindet sich in Tab. A2 im Anhang. Die Untersuchungen wurden nach den Bestimmungen der TA-LUFT (1986) durchgeführt.

Vorteil: siehe Immissionsmessprogramme NLÖ.

Einschränkungen für die Praxis: Wie bei den Immissions- und z. T. auch bei den Depositionsmessungen des NLÖ. Allerdings erlauben die 1-km²-Rasterdaten der Deposition nach TA-Luft mit Einschränkungen eine räumlich differenzierte Bewertung, insbesondere wenn die potentiellen Emittenten bekannt sind.

Verfügbarkeit der Daten: Informationen zu den Messungen sind direkt beim TÜV und den jeweiligen öffentlichen und privaten Auftraggebern erhältlich. Die Datenweitergabe kann allerdings nur im Einzelfall nach Absprache und mit Genehmigung durch den jeweiligen Auftraggeber erfolgen. Sie ist häufig unproblematisch und kostenfrei, wenn das zugrunde liegende Planungs- und Genehmigungsverfahren den Abschluss erreicht hat.

6.3 Weitere immissionsökologisch relevante Daten

6.3.1 Emissionskataster

Emissionsdaten mit Flächenbezug liegen in Niedersachsen nur sehr vereinzelt für größere Städte und Gebietskörperschaften vor. Verwiesen werden kann auf Emissionskataster für
- die Stadt Braunschweig (1990),
- Peine und Groß Ilsede (1989) sowie
- den Großraumverband Hannover (1991).

Bezugseinheit ist ein 1-km²-Raster. Es werden die Quellgruppen Verkehr, Gewerbe / Industrie und Hausbrand differenziert.

Bilanzierende, d. h. räumlich nicht differenzierende Emissionskataster liegen seit 1993 für alle Landkreise und kreisfreien Städte Niedersachsens für die Quellgruppen Hausbrand und Kleingewerbe, Verkehr sowie Industrie vor (DER NIEDERSÄCHSISCHE UMWELTMINISTER 1982 - 1993). Diese Kataster weisen nur im Bereich Verkehr, für die überörtlich relevanten Straßen, einen konkreten Raumbezug auf.

Einschränkungen für die Anwendung: Die Rasterdarstellung der nutzungs- und strukturabhängigen Emissionssituation führt zu Informationsverlusten. Der Rückschluss auf einzelne Quellen, wie z. B. Straßen, lässt sich meist nicht herstellen. Emissionsbilanzen für die einzelnen Quellgruppen auf der Basis von Kreisen und kreisfreien Städten lassen sich nicht in konkrete Planungsaussagen umsetzen.

Verfügbarkeit der Daten: Unterlagen sind über das Niedersächsische Umweltministerium zu beziehen. In Kommunen muss nach eventuell vorhandenen Emissionskatastern recherchiert werden. Die Datenweitergabe ist unproblematisch.

6.3.2 Daten zu Verkehrsmengen

Angaben zu den Verkehrsmengen sind wichtige Eingangsgrößen zur Bestimmung und Abschätzung der Emissionsbelastung durch die Quellgruppe Verkehr.

Sie liegen i. d. R. als Verkehrsmengenkarten für unterschiedliche räumliche Einheiten vor. Dargestellt wird die Anzahl der Kfz zwischen zwei Knotenpunkten. Unterschiede bestehen in

- der zeitlichen Bezugseinheit: 24 oder 12 Stunden (meist 06.30 - 18.30 Uhr);
- der Berücksichtigung der Fahrtrichtungen: gesamte Straße oder nach Fahrtrichtungen getrennt;
- dem unteren Grenzwert der Verkehrsmenge, der zur Berücksichtigung einer Straße führt.

Existierende Karten:

■ Verkehrsmengenkarte Niedersachsen (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STRAßENBAU 1997). Bezugsjahr für die Datenerhebung ist 1995.

■ Verkehrsmengenkarten (und -tabellen) einzelner Kommunen. Zu nennen sind beispielsweise die Verkehrsmengenkarten Hannover (1987) und Braunschweig (1992).

Bemerkungen zur Genauigkeit: Die Verkehrsmengenkarten der Kommunen sind als Datengrundlagen für die Emissionsabschätzung genügend genau. Sie beruhen aber meist auf einem sehr inhomogenen Datenkollektiv:

- Die Erhebungszeiträume erstrecken sich über fünf oder mehr Jahre.
- Es kommen unterschiedliche Erhebungsmethoden wie Zählungen, Fortschreibungen und vereinzelt Schätzungen zum Einsatz.
- Eine Differenzierung in PKW- und LKW-Verkehr erfolgt nur vereinzelt.

Einschränkungen für die Anwendung: Im städtischen Bereich können auch die Straßen unterhalb der dargestellten Verkehrsmengen von Interesse sein (Stichwort: flächenhafte Verkehrsbelastung).

Verfügbarkeit der Daten: Die Verkehrsmengenkarte Niedersachsen ist über das Landesamt für Straßenbau zu beziehen.

6.3.3 Informationen zu Industrie- und Gewerbebetrieben

Über Daten zu Lage, Größe, Produktionsverfahren, emittierten Stoffen und Quellhöhen verfügen je nach Zuständigkeit die Bezirksregierungen, Landkreise und Gewerbeaufsichtsämter. Diese Datenbestände sind allerdings mehrheitlich aus rechtlichen Gründen nicht zugänglich. Aber es gibt auch Ausnahmen. Unter Umständen werden Listen der genehmigungsbedürftigen Anlagen mit Anschrift zur Verfügung gestellt. Andere (kommunale) Emissionsstatistiken lassen sich nur sehr selten finden.

Deshalb müssen meist auch andere Quellen erschlossen werden. Weiterhelfen kann das Firmeninformationssystem (FIS) der Industrie- und Handelskammern (IHK). Hier sind für beschränkte Kosten Angaben zum Firmensitz, zur Betriebsgröße (= Zahl der Beschäftigten) und zur Branchenzugehörigkeit erhältlich. Mit Hilfe des FIS lassen sich die potentiellen Emittenten aus der Quellgruppe Industrie/Gewerbe und Landwirtschaft in einem Plangebiet lokalisieren und in erster Näherung Aussagen zum Emissionsspektrum sowie zur Menge der emittierten Stoffe ableiten (Kap. 11.2.2).

Einschränkungen für die Anwendung: Die Angaben im FIS erfolgen freiwillig; Vollständigkeit lässt sich deshalb nicht erwarten. Es muss unbedingt geprüft werden, ob Firmensitz und Produktionsstätte identisch und die wichtigen Betriebe enthalten sind. Der verwendete Branchenschlüssel differenziert unter dem Gesichtspunkt der Beurteilung möglicher Emissionen in Teilen nicht genügend.

7 Eine wichtige Grundlage: Erfassung der räumlichen Strukturen

7.1 Erfassung der klima- und immissionsökologisch wirksamen Struktureinheiten

Die klima- und immissionsökologisch wirksamen Struktureinheiten lassen sich durch die Kartierung und Klassifizierung von Bau-, Verkehrs- und Vegetationsflächen sowie Wasserflächen im Untersuchungsraum ermitteln.

7.1.1 Ableitung klima- und immissionsökologisch wirksamer Struktureinheiten aus der Biotop- und Nutzungstypenkarte

Klima- und immissionsökologisch wirksame Struktureinheiten lassen sich für bebaute Flächen in vereinfachter und reduzierter Form aus vorhandenen Biotop- und Nutzungstypenkarten herleiten. Wesentlich detailliertere Informationen liefern diese Quellen aber für die Ableitung der Flächeneinheiten der vegetationsbestimmten Freiflächen. Gleichzeitig liegt mit der Biotoptypenkarte eine – allerdings grobe – Übersicht über den Versiegelungsgrad im Bearbeitungsgebiet vor.

Der verwendete Kartierschlüssel bestimmt die Nutzbarkeit der Informationen maßgeblich. Kernpunkt ist der Grad der Differenzierung bei den überbauten und versiegelten Oberflächenstrukturen. Dies bedeutet: Je weiter der Kartierschlüssel an Nutzungs- und Bebauungsstrukturen orientiert ist, desto leichter können klima- und immissionsökologisch relevante Flächeninhalte abgeleitet werden. Ein gutes Beispiel stellt der Schlüssel dar, welcher der Stadtbiotopkartierung Hannover 1984 (ARBEITSGRUPPE »METHODIK DER BIOTOPKARTIERUNG IM BESIEDELTEN BEREICH« 1986) zugrunde liegt.

Für die Bearbeitung der LRP und LP in Niedersachsen empfiehlt sich der vom NLÖ herausgegebene »Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen« (DRACHENFELS 1994). Folgende Informationen werden dabei im Bearbeitungsmaßstab 1 : 5.000 – 1 : 10.000 erhoben:

- Bebaute Flächen, differenziert nach fünf Versiegelungsklassen, drei Bebauungstypen und Vegetationsstruktur.
- Befestigte Flächen, differenziert nach den Kriterien

»versiegelt«, »teilversiegelt« und »unversiegelt« (z. B. wassergebundene Decken usw.).
- Grünflächenstruktur, differenziert nach Nutzung, Standorteigenschaften und Vegetationsstruktur.
- Wasserflächen.

Gemessen an den Anforderungen der klima- und immissionsökologischen Schätzmethoden, ergeben sich bei dieser Aufnahme für die bebauten Flächen (z. B. bei den Wohnbau- und Industrieflächen) große Informationsdefizite. Die Anforderungen vieler der im folgenden vorgestellten Schätzverfahren lassen sich mit diesen Datengrundlagen nicht erfüllen. Insbesondere die geringe Differenzierung der Versiegelung und der Bebauungstypen erweist sich dabei oft als nicht ausreichend.

Für den LRP ist eine interpretierte Biotopkartierung nach dem Kartierschlüssel des NLÖ unter Umständen als Datengrundlage ausreichend. Auf der Stufe des LP empfiehlt sich insbesondere für kreisfreie Städte die ergänzende Anwendung eines differenzierteren Kartierschlüssels gemäß Tab. 4.

7.1.2 Eigene Kartierung klima- und immissionsökologisch wirksamer Struktureinheiten

Die Aufnahme und Klassifizierung erfolgt auf der Grundlage eines Kartierschlüssels, der eine unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten sinnvolle Differenzierung der Realnutzung und Oberflächenstruktur erlaubt (Tab. 4). Die Einteilung ermöglicht die Abschätzung der wichtigen Kenngrößen »Versiegelung« und »Strukturhöhe«. Die Ableitung dieser Größen basiert auf Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten (Zusammenstellung in DOSCH 1992). Versiegelung und Strukturhöhe dienen als Parameter für die Berechnung klimatischer und lufthygienischer Größen wie Oberflächenrauigkeit z_0 und Windgeschwindkeitsreduzierung sowie als Eingangsgrößen in Schätz- und Bewertungsverfahren.

Dies ermöglicht u. a. folgende klima- und immissionsökologische Aussagen:
- Abschätzung der Luftbelastungssituation über charakteristische Kenngrößen für Straßentypen und Siedlungsflächentypen
- Bestimmung der Kaltluftproduktivität von Freiflächen
- Ermittlung potenzieller Kalt-/Frischluftleitbahnen unter Berücksichtigung der Rauigkeit der Oberflächenstrukturen
- Bestimmung der Siedlungsräume mit einer potenziellen Überwärmung und Reduzierung der Austauschbedingungen über die Parameter Versiegelungsgrad, Bebauungshöhe und -dichte.

Der Interpretationsschlüssel lehnt sich an die Systematik der »Pilotstudie Statistisches Informationssystem zur Bodennutzung – STABIS« an (DEGGAU et al. 1989). Er wurde entsprechend den inhaltlichen Anforderungen und dem Bearbeitungsmaßstab modifiziert. Die Einheiten der Biotop- bzw. Nutzungstypen sind weitestgehend mit eingearbeitet. Der Schlüssel unterscheidet 11 Nutzungsgruppen (Zweisteller) und 47 Nutzungsstrukturen (Viersteller). Die Versiegelung lässt sich dabei in 10 %-Klassen differenzieren.

Die Kartierung der klima- und immissionsökologisch wirksamen Struktureinheiten ist auf zwei Wegen möglich:

- Liegt eine Biotoptypen- und -strukturkartierung vor, werden im Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge die fehlenden und nicht ausgewiesenen Siedlungsstrukturtypen, Verkehrsflächen und sonstigen Realnutzungen selektiv nachkartiert. Die kartierten Biotoptypen werden den jeweiligen Flächeneinheiten sowie den Versiegelungsgraden der Tab. 4 zugeordnet.
- Bei einer parallelen Aufnahme der Biotoptypen und der klimaökologisch wirksamen Strukturen wird ein gemeinsamer Kartierschlüssel erstellt, der die jeweilige Aussagegenauigkeit und den notwendigen Umfang beider Aufnahmen berücksichtigt. Damit können Überschneidungen bei der Kartierung und Doppelarbeit vermieden werden.

Bemerkungen zum Kartierablauf
- Abgrenzungskriterien bei der Flächenausweisung sind bei bebauten Flächen die Baublöcke und bei nicht bebauten Freiflächen die Grenzen von Nutzungen.
- Hiervon kann abgewichen werden, wenn innerhalb von Baublöcken deutliche Oberflächenstrukturänderungen – wie zum Beispiel Übergänge von Block- zu Einzelhausbebauung oder von Hochhausbebauung zu Industriegebieten – auftreten.
- Die Erfassungsuntergrenze orientiert sich am Bearbeitungsmaßstab von 1 : 5.000 bis 1 : 10.000 und liegt demnach zwischen ca. 500 m² und 1.000 m². Diese Grenze muss in Abhängigkeit von der Planungsebene unterschritten werden, wenn kleinflächige Flächennutzungseinheiten mit hohen Emissionen und/oder Windfeldwirksamkeit auftreten, wie dies bei Einzelhochhäusern, Kühltürmen, Heizwerken und anderen der Fall sein kann.
- Es werden, soweit möglich und sinnvoll, homogene Nutzungseinheiten kartiert. Bei heterogenen Nutzungseinheiten kommt das Dominanzprinzip zum Zug: die flächenmäßig bedeutendste Einheit erscheint alleine auf der Karte.
- Kartierungsgrundlage sind topographische Karten, Stadtkarten und Luftbilder (Maßstab möglichst 1 : 5.000).
- Für die Bearbeitung in unterschiedlichen Untersuchungsräumen kann der Kartierschlüssel dem klimatisch-lufthygienischen Belastungspotenzial entsprechend angepasst werden. Besonders im ländlichen Raum lässt sich über sinnvolle Zusammenfassungen (Tab. 4) der Umfang der zu kartierenden Flächeneinheiten reduzieren. Der höhere Detaillierungsgrad gilt also für urbane Räume.

7.2 Erfassung der Reliefstruktur

Die Reliefparameter können konventionell aus Karten und Luftbildern abgeleitet, im Gelände aufgenommen oder aus digitalen Höhendaten mit Hilfe von Reliefmodellen berechnet werden. Sie sind eine wichtige Datengrundlage, da sie im gegliederten Gelände maßgeblich die folgenden klima- und immissionsökologischen Zustände und Prozesse steuern:
- Kaltluftabflüsse,
- Kaltluftsammlung,
- Besonnungsverhältnisse,
- Durchlüftungsfähigkeit,
- Windexposition und
- Lufthygienisch-klimatische Verhältnisse, u. a. Stagnationsbereiche, Emissionsfallen.

Tab. 4: Kartierschlüssel für klima- und immissionsökologisch wirksame Struktureinheiten

	Klima- und immissionsökologisch wirksame Struktureinheiten	Versiegelungsgrad (%) Literaturdaten	Versiegelungsgrad (%) Mittelwert	Klassifizierte mittlere Höhe (m)
0100	Wohnbauflächen			
0110	Blockbebauung	68 - 100	87	10 - 20
0120	Blockrandbebauung	55 - 90	69	10 - 20
0130	Hochhausbebauung	32 - 100	55	> 20
0140	Zeilenbebauung	10 - 80	54	5 - 15
0150	Einzel- u. Reihenhausbebauung	15 - 70	41	2,5 - 7,5
0160	Einzelanwesen	—	—	2,5 - 7,5
0170	Brachflächen der Wohn- u. Mischgebiete	15 - 40	25	—
0200	Mischbauflächen			
0210	Zentrum / Stadtteilzentren	68 - 100	95	> 20
0220	Alte Ortskerne	32 - 68	45	2,5 - 7,5
0300	Gewerbliche Bauflächen			
0310	Industrie- und Gewerbeflächen	20 - 100	87	5 - 20
0311	dicht bebaut, wenig durchgrünt	80 - 100	93	5 - 20
0312	locker bebaut, durchgrünt	20 - 100	71	5 - 20
0320	Einkaufszentren	—	90	5 - 20
0330	Lagerflächen	—	75	—
0340	Wasser- u. Energieversorgungsanlagen	—	85	5 - 20
0350	Flughafen- u. Bahnbetriebsgelände	—	85	5 - 20
0360	Industrie- u. Gewerbebrachen	15 - 40	25	—
0400	Gemeinbedarfsflächen			
0410	Flächen mit hohem Grünanteil	55 - 100	85	5 -20
0420	Flächen mit niedrigem Grünanteil	55 - 100	75	5 - 20
0500	Aufschüttungs- u. Abgrabungsflächen			
0510	Aufschüttungsflächen	0 - 20	5	—
0520	Deponieflächen	0 - 20	5	—
0530	Abgrabungsflächen	0 - 20	5	—
0540	Becken	0 - 20	5	—
0600	Verkehrsflächen			
0610	Autobahnen u. autobahnähnliche Straßen	—	95	—
0620	übergeordnete Straßen u. Hauptstraßen	—	95	—
0630	Wohn- u. Erschließungsstraßen	—	95	—
0640	Verkehrs- u. Parkplatzflächen	—	95	—
0650	Schienenverkehrsflächen	—	25	—
0660	Luftverkehrsflächen	—	25	—
0670	straßenverkehrsbegleitende Grünflächen	—	25	0 - 15
0680	Verkehrsbrachflächen	—	—	—
0700	Freizeit- u. Erholungsflächen			
0710	Grün- u. Parkanlagen	0 - 50	25	0 - 15
0720	Friedhöfe	0 - 40	22	0 - 15
0730	Spiel-, Sport- u. Freizeitanlagen	0 - 57	22	0 - 7,5
0740	Kleingartenanlagen	0 - 50	28	0 - 7,5
0800	Landwirtschaftliche Flächen			
0810	Ackerland	—	5	0 - 2,5
0820	Wiesen u. Weiden	—	5	0 - 0,5
0830	Brach- u. Ödlandflächen	—	5	0 - 2,5
0840	Garten- u. Obstbauflächen	—	5	0 - 5
0900	Waldflächen u. Gehölze			
0910	Laubwald	—	5	5 - 20
0920	Nadelwald	—	5	5 - 20
0930	Mischwald	—	5	5 - 20
0940	Gehölze	—	5	0 - 2,5
1000	Sonderstandorte			
1010	Feuchtgebiete	—	—	0 - 5
1020	Trockenstandorte	—	—	0 - 2,5
1030	Ruderalflächen	—	—	0 - 10
1040	vegetationslose Flächen	—	—	—
1100	Wasserflächen	—	—	—

zusammenfassbare Flächeneinheiten im ländlichen Raum

Für eine Ersteinschätzung des Planungsraums und die Abgrenzung der Problembereiche werden die Reliefformen direkt aus der topographischen Karte abgeleitet (Tab. 5). Auch die Neigungsrichtung (Exposition) lässt sich bei diesem Arbeitsschritt grob aus dem Kartenbild ableiten.

In Abhängigkeit von der Raumsituation, Fragestellung und der jeweiligen Problemlage interessieren weitere Reliefparameter gemäß Tab.5. Diese Parameter sind wichtige Eingangsgrößen für die in Kapitel 9 bis 14 beschriebenen Methoden zur

- Berechnung der Massenströme von orographisch bedingten Kaltluftabflüssen,
- Wirksamkeit von Frisch-/Kaltluftleitbahnen,
- Abschätzung der Hinderniswirkung von Austauschhindernissen,
- Bestimmung der Windfeldbeeinflussung,
- Ermittlung von Bereichen mit Strahlungsgunst und -ungunst und
- Ableitung von Kaltluftsammelgebieten.

Tab. 5: Klimaökologisch relevante Reliefparameter.
Diese sind zur Abgrenzung der Bearbeitungsräume bzw. für die Ermittlung der klimaökologischen Funktionszusammenhänge in den Problemräumen zu erheben. In den Problemräumen richtet sich der Detaillierungsgrad der Reliefanalyse nach den Datenanforderungen der jeweiligen Methode.

Grobanalyse gesamtes Plangebiet (Abgrenzung der Bearbeitungsräume)	**Detailanalyse Bearbeitungsräume**
Reliefformtyp (z. B. Mulde, Tal, Hang)	Reliefformtyp (z. B. Mulde, Tal, Hang)
—	Einzugsgebiet
—	Hanglänge
—	Hang-/Talneigung
Neigungsrichtung (Exposition)	Neigungsrichtung (Exposition)

7.2.1 Ableitung der Reliefstrukturen aus topographischen Karten

Diese Vorgehensweise ermöglicht eine hinreichend genaue Erhebung der meisten Reliefstrukturen. Grundsätzlich reicht für die Erfassung der Reliefeinheiten die Informationsdichte der topographischen Karte 1 : 25.000 aus. In den Bearbeitungsräumen sollte jedoch möglichst auf das topographische Kartenwerk DGK 5 zurückgegriffen werden, das aber landesweit erst zu zwei Dritteln mit Höhenlinien vorliegt. Auch Verkleinerungen der DGK auf 1 : 10.000 eignen sich gut für die Auswertung.

Tabelle 6 zeigt einen Kartierschlüssel mit Schlüsselcode für die wichtigen Reliefparameter. Dieser orientiert sich an den Anforderungen der hier vorgestellten Methoden und ist an die naturräumlichen Gegebenheiten Niedersachsens angepasst.

Die Parameter Reliefform, Einzugsgebiet, Hanglänge, Neigung und Exposition werden nur in den für die Bearbeitung der Schutzgüter Klima und Luft relevanten Teilräume des Plangebiets erhoben. Die Bestimmung erfolgt nach den gängigen kartographischen Auswerteverfahren direkt aus der Karte. Die räumliche Auflösung richtet sich nach der angestrebten Bearbeitungstiefe und der zur Anwendung kommenden Methode.

Die grobe Ermittlung der klimaökologisch sehr wichtigen Einzugsgebiete erfolgt über die Ausweisung der Tiefenlinien und Höhenrücken im Sinne von oberirdischen Wassereinzugsgebieten. Die genaue Größe und Lage der Einzugsgebiete orientiert sich an den feinen Reliefformen. Diese kleineren Wölbungen, Rücken und Tiefenlinien lassen sich zum Teil aus Luftbildern und z. T. nur im Gelände genügend differenziert kartieren.

7.2.2 Einsatz von digitalen Reliefmodellen

Die heutige Technik ermöglicht eine flächendeckende, detaillierte Ermittlung vieler Reliefstrukturen. Wenn das Know-how und die Infrastruktur für die Verarbeitung von raumbezogenen Daten zur Verfügung stehen, ist dieses Vorgehen in der Landschaftsplanung zunehmend von Interesse. Sicher besteht zum jetzigen Zeitpunkt noch die Einschränkung, dass nur wenige Auftraggeber und -nehmer digitale Relief- und/oder Geländemodelle verfügbar haben und auch einsetzen. Da aber schon mehrere lauffähige und auch günstige Modelle auf dem Markt sind (s.u.), wird dieses Vorgehen allmählich Standard werden.

Exposition, Hangneigung, Tiefenlinien, Höhenrücken, Einzugsgebiete und Hanglänge lassen sich aus digitalen Höhendaten über gängige Berechnungsverfahren bestimmen. Die Genauigkeit der Informationen wird durch die räumliche Auflösung der Eingangsdaten definiert. In Ausgleichsräumen sollte entsprechend ihrer

Tab. 6: Kartierschlüssel und 5-stelliger Schlüsselcode zur Aufnahme der Reliefparameter.
In den abgegrenzten Bearbeitungsräumen des Plangebietes sind in der Regel alle fünf Parameter zu erfassen. Der Schlüsselcode gewährleistet eine EDV-gerechte Erfassung und Weiterverarbeitung der Reliefparameter.

Reliefformtyp		Einzugsgebietsgröße		Hanglänge		Neigungsklasse		Neigungsrichtung (Exposition) gemäß 8teiliger Windrose	
Bezeichnung	Code 1.Stelle	Einteilung (ha)	Code 2. Stelle	Einteilung (m)	Code 3. Stelle	Einteilung (°)	Code 4. Stelle	Einteilung (°)	Code 5. Stelle
Kuppe	1	≦ 5	1	—	0	0 - 0,5	1	—	0
Rücken	2	> 5 - 10	2	> 0 - 400	1	0,5 - 2	2	338 - 22	1
Hang, konkav	3	> 10 - 25	3	> 400 - 800	2	2 - 4	3	23 - 67	2
Hang, gestreckt	4	> 25 - 50	4	> 800 - 1200	3	4 - 7	4	68 - 112	3
Hang, konvex	5	> 50 - 100	5	> 1200 - 1600	4	7 - 11	5	113 - 157	4
Hangmulde	6	> 100 - 150	6	> 1600 - 2000	5	11 - 15	6	158 - 202	5
Talsohle	7	> 150 - 200	7	> 2000 - 2500	6	15 - 20	7	203 - 247	6
Mulde	8	> 200 - 250	8	> 2500 - 3000	7	20 - 30	8	248 - 292	7
Ebene	9	> 250	9	> 3000	8	> 30	9	293 - 337	8

klima- und immissionsökologischen Bedeutung und der Komplexität des Geländes eine hohe Auflösung von 25 m oder höchstens 50 m Rasterweite gewählt werden.

Verfügbare digitale Höhendaten
Wichtigste Eingangsgröße für die Anwendung von digitalen Reliefmodellen sind Höhendaten mit großer räumlicher Auflösung. Es bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten, diese Daten zu erhalten. Entweder werden die Höhenlinien aus topographischen Karten digitalisiert, oder es werden Höhendaten von der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen genutzt. Letztere stehen in zwei unterschiedlichen Auflösungen zur Verfügung:

- Nutzung von Höhendaten aus dem ATKIS-DGM 5:
Diese Höhendaten haben eine hohe Auflösung (Gitterweite: 12,5 m x 12,5 m). Bisher liegen allerdings für Niedersachsen nicht alle Werte vor (Stand Ende 1998: ca. 60 % der Landesfläche bearbeitet). Die weitere DGM 5-Herstellung erfolgt bedarfsorientiert, d. h. auf Anforderung und Anmeldung werden ggf. innerhalb weniger Monate die Daten erstellt. Weiterführende methodisch-technische Informationen liefern z. B. DUTTMANN et al. (1994).
- Nutzung von Höhendaten aus dem ATKIS-DGM 50:
Die Höhendaten des DGM 50 liegen in Form eines 50-m-Gitters im Gauß-Krüger-Koordinatensystem für ganz Niedersachsen vor. Die Höheninformationen sind auf Antrag bei der Landesvermessung zu beziehen. Landesbehörden erhalten die ATKIS-Daten gebührenfrei. Landkreise müssen die Daten gegen Gebühr beziehen und können sie dann dem ausführenden Planungsbüro überlassen.

Eine eigene Digitalisierung ist sehr zeit- und damit kostenaufwendig und deshalb für klimaökologische Fragestellungen alleine wohl kaum vertretbar.

Weiterverarbeitung mit Reliefmodellen
Auf dem Markt ist eine Vielzahl von Programmpaketen zur Berechnung von Reliefparametern verfügbar. Prinzipiell lassen sich kostengünstige Programme und Geographische Informationssysteme wie GRASS, TASH, SARA und IDRISI (Shareware oder Preis unter 1.000,- DM) verwenden (BILL & FRITSCH 1991). Natürlich beinhalten auch komplexere Geographische Informationssysteme wie ARC/INFO Module zur Ableitung von Reliefparametern.

Vorteile des Modelleinsatzes gegenüber Kartierungen:
- Flächendeckende, rasche Erfassung der wichtigen Reliefmerkmale.
- Vielfältige Berechnungs-, Verschneidungs- und Darstellungsmöglichkeiten.
- Möglichkeit der Durchführung von Simulationen.
- Gleichzeitig wichtige Datengrundlage für die Bearbeitung der Schutzgüter Wasser und Boden.

8 Eigene Datenbeschaffung durch Messungen

Dieses Kapitel stellt nur einfache und mit beschränktem Zeit- und Kostenaufwand umsetzbare Methoden vor. Daten, die nur mit aufwendigen und teuren Messungen gewonnen werden können (z. B. Infrarot-Thermalbefliegungen, Vertikalsondierungen und Immissionsmessungen), lassen sich nur in die klima- und immissionsökologische Analyse integrieren, wenn sie vorhanden sind.

Messungen von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und -geschwindigkeit ermöglichen eine detaillierte Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge im Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge. Für das Herausarbeiten relativer Unterschiede reichen kurzfristige, wetterlagenabhängige Stichprobenmessungen (Messfahrten, Messstationen, Tracerversuche). Wenn es der Untersuchungsraum und die Anlage der Messrouten zulassen, können Messfahrten auch zur Ermittlung von Kaltluftsammelgebieten eingesetzt werden.

Die Stichprobenmessungen finden während austauschschwacher Strahlungswetterlagen statt, da die klima- und immissionsökologischen Zustände und Prozesse in diesen Zeiträumen besonders intensiv in Erscheinung treten. Der DWD (SCHIRMER 1988) definierte früher eine austauscharme Strahlungswetterlage wie folgt:
- Maximaler täglicher Bewölkungsgrad ≦3 /8,
- mittlere tägliche Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ≦ 1,5 m/s.

Gute meteorologische Rahmenbedingungen für die Messungen sind aber auch noch bei mittleren Windgeschwindigkeiten von 2 m/s – 3 m/s gewährleistet, wenn in den Abend- und Nachtstunden eine deutliche Windreduzierung eintritt (≦ 2,5 m/s) und der nächtliche Bedeckungsgrad 4/8 nicht überschreitet. Diese Kriterien wendet heute auch der DWD an (DWD 1996).

8.1 Messfahrten zum Lufttemperaturfeld

Auf der Ebene des Landschaftsplanes oder in Teilräumen eines Landschaftsrahmenplanes können Messfahrten zum Lufttemperaturfeld eingesetzt werden, um
- im Wirkungsraum überwärmte Bereiche zu lokalisieren und ihre Ausdehnung abzugrenzen,
- die Abkühlung in unterschiedlichen Vegetationsstrukturen des Ausgleichsraums zu bestimmen,
- die Reichweiten der Kalt- / Frischluftströmungen in die Bebauung hinein festzustellen und
- besondere Klimabedingungen zu lokalisieren.

Messfahrten stellen eine relativ einfache Methode zur hochauflösenden Erfassung der Lufttemperaturen auch für größere Gebiete dar. Sie ermöglichen es, mit vertretbarem Aufwand klimatische Datenlücken zu füllen und Informationen in Teilräumen zu verdichten. Sie lassen sich zur Berechnung von Einzelgrößen (z. B. Kaltluftproduktion) heranziehen und in Schätz- und Bewertungsverfahren (z. B. zur Wirksamkeit von Leitbahnen für Luftaustauschprozesse) weiterverarbeiten.

Bei den Messfahrten wird das nächtliche Lufttemperatur- und Feuchtefeld bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen während der Fahrt entlang einer festgelegten Messstrecke ermittelt. Die aus diesen Messwerten ableitbaren Aussagen und die räumliche Aussagegenauigkeit hängen maßgeblich von der Größe des Untersuchungsgebiets sowie der Dauer und dem Verlauf der Messroute ab.

8.1.1 Messanordnung

An einem Messfahrzeug (PKW oder Kleinbus) wird seitlich oder vor dem Fahrzeug ein Ausleger in einem Abstand von mindestens 0,5 m zum Wagen und in 1,5 – 2 m Höhe angebracht (Abb. 19). Bei der Anordnung sind Auswirkungen der Abwärme des Wagens zu vermeiden. Bei Fehlen von PKW-befahrbaren Straßen und Wegen kann die Messausrüstung auch auf einem Fahrrad montiert oder getragen werden (= Messgang).

Abb. 19: Messfahrzeug und Messgerätekonfiguration zur Durchführung von Klimamessfahrten. – Aus: BURKERT (1992). Es sind auch einfache Aufbauten an einem Pkw möglich.

Als Messsonden sind sehr schnell ansprechende Sensoren (z. B. Thermistoren; Ansprechzeit < 1 Sek.) empfehlenswert. Um Messausfällen vorzubeugen, sollten immer zwei Sensoren gleichzeitig verwendet werden. In Bereichen mit einer potentiellen bioklimatischen Belastung können zusätzlich Luftfeuchtewerte über einen kapazitiven Feuchtesensor oder über die Messung der Trocken- und Feuchttemperatur mit Hilfe eines thermistorbestückten Psychrogebers ermittelt werden. Wie üblich müssen alle Messgeräte vorher kalibriert werden (VDI-RICHTLINIEN 3786, Bl. 3 und 4, 1985).

Die Datenaufzeichnung (Messwerte, Uhrzeit) geschieht mit Hilfe von Dataloggern in einem Zeittakt von zwei Sekunden.

Die Verortung der Messfahrtergebnisse erfolgt
- bei Einfachausrüstung über ein Messprotokoll mit Ortskennungen (fortlaufende Kennung von Richtungsänderungen und Stopps), Bemerkungen zum Verlauf der Messfahrt (außerplanmäßige Stopps, Routenänderungen usw.) und Uhrzeit,
- bei modernen Klimamessfahrzeugen mit Satellitenverortungssystem. Dabei werden Raum-Zeit-Koordinaten über einen Satelliten automatisch erfasst und direkt in den Datalogger eingespeist.

Steht keine geeignete Freilandstation als Bezugsstation für die Messfahrt im Untersuchungsraum zur Verfügung, muss für den Messzeitraum eine kontinuierlich messende Station betrieben werden. Der Standort soll freilandähnliche Verhältnisse aufweisen.

8.1.2 Messroute und -ablauf

Der Verlauf der Messroute(n) muss folgenden Kriterien genügen:
- Erfassung aller klimaökologisch relevanten Oberflächenstrukturen,
- Erfassung aller wirksamen Reliefstrukturen und Höhenstufen,
- Reichweitenabschätzung der Luftaustauschsysteme und
- Erfassung der wichtigen Übergangsformen Freiland- / Siedlungsfläche.

Die Größe des Untersuchungsgebietes gibt die Anzahl der Messrouten vor. In der Regel reichen zwei Messrouten aus, die während einer Messkampagne gleichzeitig abgefahren werden. Wegen der nur begrenzt möglichen Tagesgangkorrektur darf die Fahrzeit einer Messkampagne höchstens drei Stunden betragen. Zur Absicherung der Ergebnisse sind für jede Route mindestens zwei Messfahrttermine anzusetzen. Findet die erste Fahrt unter optimalen Wetterbedingungen statt, kann der zweite Termin eventuell entfallen.

Bei der Anlage der schleifenförmigen Messrouten sollte als Ausgangs- und gleichzeitig Endpunkt der Schleifen ein leicht erreichbarer, zentraler Ort im Untersuchungsgebiet gewählt werden. Die Messstrecke muss den Wirkungsraum und den Ausgleichsraum gleichgewichtig abdecken. Die Messschleifen sollten auch geradlinige Profilstrecken zwischen Bebauung und Grünfläche zur Ermittlung der horizontalen Temperaturgradienten beinhalten.

Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit während der Messungen sollte 25 km/h nicht überschreiten. Daraus ergibt sich ein Abstand von ca. 15 m zwischen zwei Messpunkten.

Die Messfahrt kann frühestens 2 Stunden nach Sonnenuntergang beginnen, da sich die temperaturwirksamen Prozesse erst dann voll entwickelt haben.

8.1.3 Messfahrtauswertung

Der Einfluss der Zeit während Messfahrten von mehr als 30 Minuten Länge wird über eine Tagesgangkorrektur mit Hilfe von gebräuchlichen Verfahren herausgerechnet (z. B. DANZEISEN 1983). Hierzu erfolgt ein Abgleich mit den Werten einer Bezugsstation mit Freilandcharakter.

Die Ortskennungsdaten bzw. die digitalen Verortungsdaten werden mit der Messfahrt über das gemeinsame Datenfeld »Zeit« miteinander verknüpft. Dabei lassen sich die Standzeiten der Messfahrten eliminieren. Bei der Messprotokollmethode müssen anschließend die Messwerte zwischen zwei Messpunkten interpoliert werden.

Die Ergebnisse der Messfahrt werden in eine analoge oder – unter Anwendung empirisch-statistischer Beziehungen – in eine digitale Karte des Lufttemperaturfeldes umgesetzt. Diese Karte stellt die relativen Temperaturunterschiede im untersuchten Gebiet dar (Abb. 20).

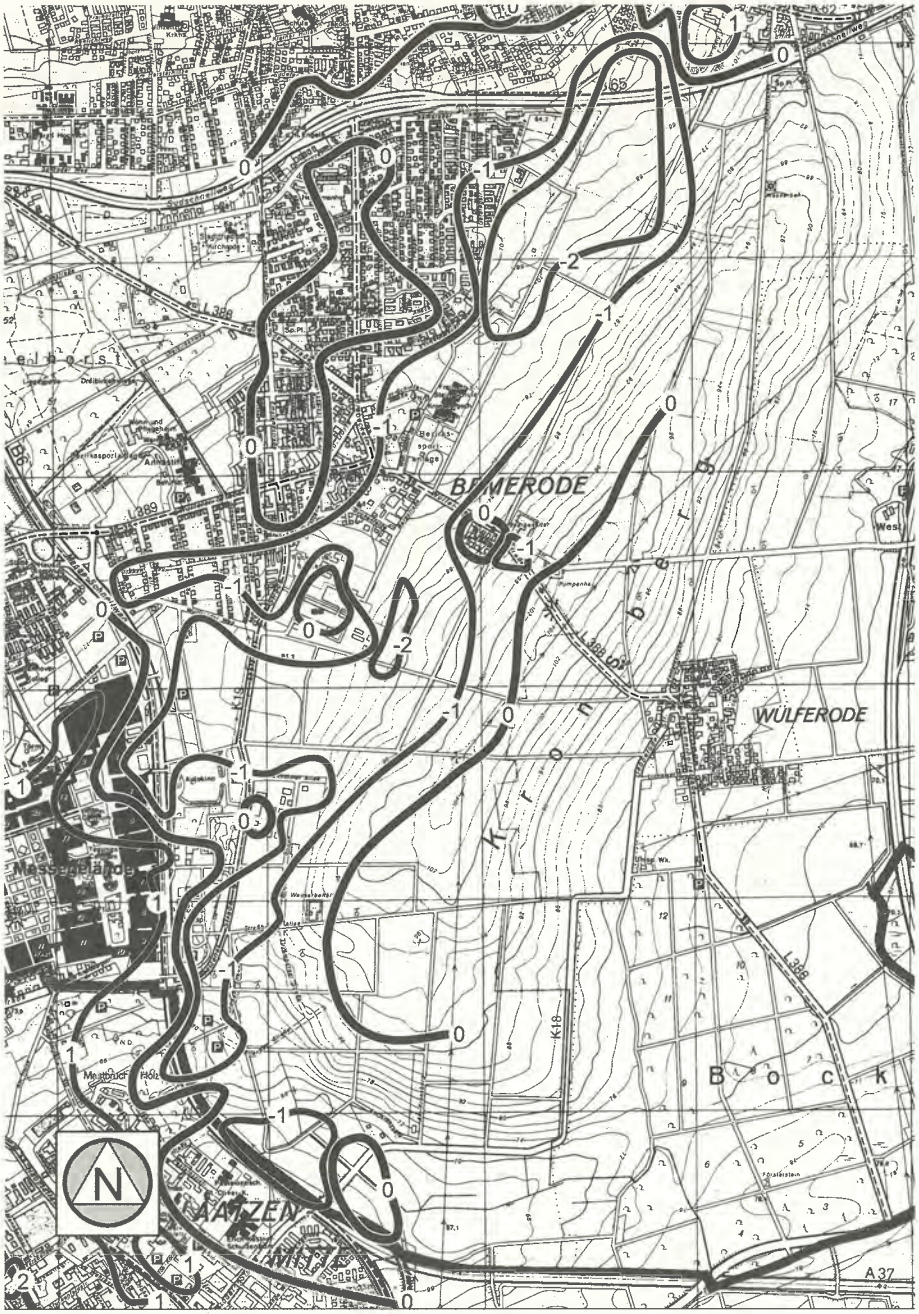


Abb. 20: Nächtliches Lufttemperaturfeld am Kronsberg während einer austauscharmen Strahlungswetterlage. Aus: GROSS et al. (1996). Dargestellt sind Isanomalen der Lufttemperatur (in °C) als Abweichung vom Gebietsmittel.

8.2 Stationäre Messnetze

Längerfristige kontinuierliche Messungen stehen im Rahmen der Erarbeitung der klimaökologischen Grundlagen für den LRP und LP nicht in einem akzeptablen Verhältnis von Aufwand und Ertrag. Wetterlagenabhängige, d. h. also kurzfristige stationäre Stichprobenmessungen stellen jedoch eine sinnvolle Ergänzung der Datenbasis dar, wenn gleichzeitig Messfahrten und Tracerversuche durchgeführt werden. Es lassen sich damit an repräsentativen Standorten zeitlich hochauflösende Daten zu den Parametern Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit ermitteln. Die Messstationen übernehmen in diesem Zusammenhang die Funktion von Bezugsstationen. Die Wahl der Stationsstandorte orientiert sich deshalb an den geplanten Messrouten oder am Untersuchungsgebiet für die Tracerversuche.

Der Betriebszeitraum umfasst in der Regel nur den Messzeitraum, der für die Tracerexperimente und Temperaturmessfahrten benötigt wird, mit einem dreistündigen Vor- und Nachlauf. Allenfalls kann eine Messperiode sinnvoll auf 3 bis 4 Tage ausgedehnt werden, um den zeitlichen Ablauf einer Messwetterlage zu charakterisieren und einzelne Klimaphänomene wie z. B. Kaltluftansammlung und Kaltluftstau nachzuweisen.

Instrumentelle Ausstattung:

- Erfassung der Klimaelemente in 2 m Höhe. Bei Untersuchungen zu Windfeld und Austauschströmungen kann ein Messniveau von bis zu 10 m Höhe sinnvoll sein.
- Wartungsarme, kontinuierliche und zeitlich hochauflösende Datenerfassung und Datenaufzeichnung. Es sind heute aufgrund des günstigeren Preis-/ Leistungsverhältnisses elektronisch-automatische Erfassungssysteme vorzuziehen.
- Verwendung von Windmessgeräten mit sehr geringen Anlaufwerten (0,5 m/s) zur Messung niedriger Windgeschwindigkeiten.
- Hohe Mobilität, d. h. der Auf- und Abbau der Messanordnung muss problemlos und schnell möglich sein.

8.3 Traceruntersuchungen

Tracerversuche eignen sich, um schwach ausgebildete, bodennahe Strömungssysteme wie Talwinde, Hangabwinde und thermische Ausgleichsströmungen sichtbar zu machen und damit nachzuweisen und räumlich einzugrenzen. Dabei lässt sich auch die Wirksamkeit von Austauschströmungen über die Strömungsmächtigkeit, -geschwindigkeit und -eindringtiefe in die Bebauung bestimmen.

Prinzip: Während austauschschwacher Strahlungswetterlagen werden einfache Stoffe und/oder Körper im Gelände freigesetzt. Als gebräuchliche Tracer stehen Rauchmittel (Rauchkerzen, Rauchpatronen) und Driftballone zur Verfügung (Abb. 21). Der Einsatz von Tracergasen verbietet sich aufgrund des hohen Untersuchungs- und Laboraufwandes.

Im Einzelnen sind folgende Aussagen zu Luftströmungen (und damit zum Prozessgeschehen im Untersuchungsraum) möglich:

- Nachweis der Strömung,

Abb. 21: Ballontracerversuch. Ein mit Gas gefüllter Ballon wird in der bodennahen Luftschicht so austariert, dass er in einer bestimmten Höhe schwebt. Dann wird die Verdriftung des Ballons mit der Strömung kartiert und dokumentiert.

- Vertikale und horizontale Struktur des Strömungssystems,
- Stauwirkung von Austauschhindernissen und
- Eindringverhalten der Strömung in die Bebauung.

Bemerkungen zum Untersuchungsablauf
Die Wahl des Ausgangspunktes für die Tracerfreisetzung orientiert sich an der Fragestellung. Zum Nachweis von Hang- oder Talabwinden und zur Wirkung von Hindernissen muss oberhalb des Messpunktes eine genügend lange Fließstrecke (möglichst über 400 m) vorhanden sein, damit sich eine für den Nachweis hinreichend mächtige Kaltluftströmung ausbilden kann. Beim Erfassen thermisch bedingter Ausgleichsströmungen und des Eindringens von Strömungen in die Bebauung sollten die Tracer in der Freifläche im Nahbereich des Überganges zur Bebauung (Abstand etwa 200 m – 500 m) freigesetzt werden. Der Beginn der Untersuchungen ist frühestens eine Stunde vor Sonnenuntergang möglich.

Bei Rauchschwadenexperimenten ist zu beachten, dass es durch den Nebel zu keiner Verkehrsgefährdung kommt und Feuerwehr und Polizei von den Versuchen in Kenntnis gesetzt werden.

Die Freisetzung des Rauches sollte im Bereich des Geschwindigkeitsmaximums einer Kaltluftströmung erfolgen, d. h. in der Regel in 2 bis 4 m Höhe über dem Boden. Über den meist intensiven Geruch des Rauches kann auch über weitere Entfernungen und nach Ende der Abenddämmerung eine Kaltluftströmung nachgewiesen werden.

Der Einsatz von Driftballonen eignet sich wegen der o. a. Einschränkung von Rauchtracerversuchen besonders im Bereich von Siedlungen und größeren Verkehrsstraßen sowie generell während der Nacht. Zur genauen Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit sollten zusätzlich quasistationäre Messungen erfolgen (Klimamessstationen oder einfache Handmessgeräte).

9 Abgrenzung von klimaökologischen Komfortinseln

Klimaökologische Komfortinseln sind vielfältig strukturierte Vegetationsflächen in Wirkungsräumen. Sie weisen günstige klimatisch-lufthygienische Bedingungen für die Bevölkerung auf. Ihre Funktion ist an die Nachbarschaft zu Siedlungsräumen mit bioklimatisch und/oder lufthygienisch ungünstigen Verhältnissen gebunden. Komfortinseln müssen allgemein zugänglich sein. Sie weisen oft mehrere klimaökologische Funktionen auf, da sie gleichzeitig auch als Kalt-/Frischluftliefergebiete und Leitbahnen fungieren können. Es kann sich aber auch um vegetationsgeprägte Freiflächen handeln, die aufgrund einer isolierten Lage in der Bebauung keine Anbindung an vorhandene Leitbahnen aufweisen und wegen der geringen Größe keine ausgleichenden Strömungen entstehen lassen.

Die Bedeutung als Komfortinseln erhalten diese grüngeprägten Freiflächen vor allem durch folgende Eigenschaften:

- Es sind immissionsarme Räume.
- Die Klimabedingungen begünstigen einen Aufenthalt im Freien zu verschiedenen Jahreszeiten, vor allem aber in den Sommermonaten.
- Es besteht allgemein eine wertvolle Klimavielfalt, d. h. ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten mit beschatteten und besonnten Bereichen, windgeschützten Nischen, kühlenden Wasserflächen usw.

Die Komfortinseln bieten somit vielfältige und günstige klimatisch-lufthygienische Voraussetzungen, die den besonderen Ansprüchen verschiedener Bevölkerungsgruppen an naturbezogene Erholung gerecht werden.

Komfortinseln sind ein kleinflächiges Phänomen: Sie lassen sich deshalb vorrangig im LP, aber auch in LRP für kreisfreie Städte abgrenzen. Komfortinseln sollten in allen drei klimaökologischen Regionen berücksichtigt werden. Dem Aspekt Windschutz kommt im küstennahen Raum eine besonders hohe Bedeutung zu.

Prinzipielles Vorgehen
Aus den vorhandenen Informationen zu den Oberflächenstrukturen und Biotoptypen (Kap. 7.1) lassen sich die relevanten Freiflächen ermitteln. Potentielle Komfortinseln befinden sich im Bereich von

- Grün- und Parkanlagen,
- Friedhöfen,
- Sport- und Freizeitflächen,
- Feuchtgebieten,
- Uferbereichen,
- Ruderalflächen,
- Stadtwäldern und
- Übergangsbereichen zwischen landwirtschaftlichen Flächen und Waldflächen oder Gehölzen.

Die Kriterien für die Ausweisung sind:

- Zuordnung zu einem Siedlungsraum mit bioklimatisch-lufthygienisch ungünstigeren Bedingungen: maximale Entfernung von 400 m (Kap. 10 und 11).

- Mindestgröße der vegetationsgeprägten Freifläche 0,5 – 1 ha.
- Länge nicht mehr als 4-fache Breite.
- Unterschiedliche Mikroklimate auf kleinen Flächen (außer in Stadtwäldern).
- Gehölzstrukturen mit Windschutzfunktion in Bereichen mit Windstress.
- Keine Emissionen in der Freifläche.
- Dichte Gehölzstrukturen als Immissionsschutz zwischen Straßenzügen und potenziellen Komfortinseln (siehe dazu Kap. 14).

Mikroklimavielfalt

Verschiedene mikroklimatische Verhältnisse bilden sich durch die Strukturvielfalt der Freiflächen selbst aus und entstehen auch im Wechselspiel zwischen Vegetationsflächen und Gewässerflächen bzw. Relieflage. Im kleinräumigen Mosaik können stark wechselnde Strahlungs-, Temperatur-, Wind- und Feuchteverhältnisse entstehen. Bereiche mit eigenen Mikroklimaten sind z. B. kleinere Gehölze mit unterschiedlichen Baumartenbeständen und Altersstrukturen, eher offene oder eher geschlossene Waldränder, Waldlichtungen verschiedener Größe, verschieden aufgebaute Gehölzgruppen, Baumreihen, Gebüschgruppen, offene Wiesen-/Weideflächen und Übergänge zwischen grüngeprägten Freiflächen und Gewässern.

Windschutzfunktion

Linienhafte Gehölzstrukturen und Wälder in den Freiflächen bremsen die Windströmung und können die Windgeschwindigkeit in den benachbarten Freiflächen stark reduzieren. Sie erfüllen damit Windschutzfunktion. Neben dem Erosionsschutz für den Boden resultieren daraus vor allem in Erholungsräumen günstigere lokale bioklimatische Bedingungen.

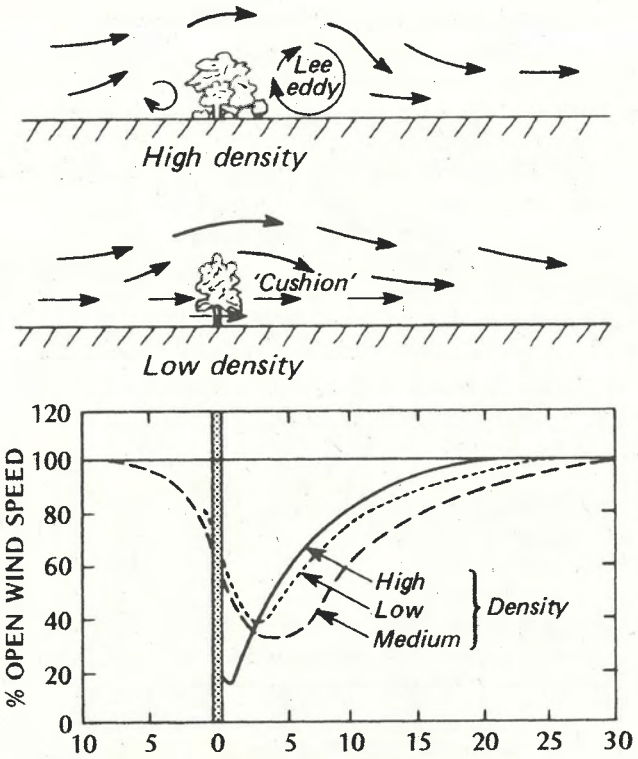


Abb.22: Bodennahes Strömungsfeld und Windgeschwindigkeitsreduktion bei Windschutzhecken mit unterschiedlicher Durchlässigkeit. Dargestellt ist der Wirkungsbereich in Abhängigkeit von der Höhe des Bestandes. Nach: NÄGELI (1946), aus OKE (1987).

Die beste Windschutzwirkung wird durch mehrreihige, dichte und vielschichtig aufgebaute Hecken mit locker gruppierten, hochwüchsigen Bäumen in der Mittelreihe erreicht (Abb. 22). Abhängig ist die Wirksamkeit der Windschutzhecke von der Bestandshöhe und der Durchlässigkeit des Bestandes. Noch bessere Wirksamkeit erreichen Windschutzpflanzungen auf einem Wall (= Erhöhung der Oberflächenreibung).

Windschutzfunktion können nur Gehölzstrukturen übernehmen, die bei relativ freier Anströmung

- senkrecht ausgerichtet sind zu der im Jahresmittel am häufigsten auftretenden Windrichtung,
- senkrecht ausgerichtet sind zu der Windrichtung, die die häufigsten Starkwinde aufweist oder
- sich unter den gleichen Ausgangsbedingungen im Einflussbereich starker Strömungskonvergenz befinden (z. B. Engstellen wie Straßenschluchten oder Talverengungen sowie windexponierte Flächen wie Kuppen / Kämme oder Hochhäuser).

Als Entscheidungshilfe dient die Windstatistik für das Plangebiet (Kap. 10.4.1).

Tabelle 7 verdeutlicht die windbremsende Wirkung von Heckenpflanzungen. Die Windschutzwirkung einer Hecke reicht bis 20mal so weit wie ihre Höhe. Eine Halbierung der Ausgangswindgeschwindigkeit ist in einem Bereich der 5- bis 6-fachen Heckenhöhe festzustellen.

Tab. 7: Windbremsung durch eine Windschutzpflanzung von 12 m Höhe. – Nach SCHWERDTFEGER 1988, aus: AID 1993.

Ausgangswindgeschwindigkeit (m/s)	Windgeschwindigkeitsreduzierung an der Boden- bzw. Bestandsoberfläche (%) Entfernung von der Windschutzpflanzung			
	20 m	70 m	150 m	240 m
1 – 3	67	50	33	0
4 – 10	75	50	25	0

10 Erfassung der klimatischen Zustände im Wirkungsraum

10.1 Schätzung der strukturabhängigen Überwärmung

Die Ermittlung der Überwärmung von Siedlungsbereichen und der damit verbundenen Bildung von meist mehrkernigen Wärmeinseln während austauschschwacher Strahlungswetterlagen liefert Aussagen
- zu Bereichen mit bioklimatischen Belastungen (Hitzestress, Schwüle),
- zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Luftaustauschsysteme und
- zur räumlichen Wirksamkeit von Kalt-/Frischluftströmungen.

Eine hohe Überwärmung von Siedlungsbereichen kann nur als Hinweis für mögliche bioklimatische Belastungen gelten, da die Einstrahlungsbedingungen und Feuchteverhältnisse nicht berücksichtigt werden.

Das Temperaturfeld ist ein wichtiger Eingangsparameter für die bioklimatische Kenngröße »Äquivalenttemperatur« (Kap. 10.2). Aus der strukturabhängigen Überwärmung bzw. dem Temperaturfeld lässt sich konkret die Reichweite der Kalt-/Frischluftströmungen bestimmen (Kap. 13.4). Die Temperatur dient dabei als Indikator für den Nachweis von Ausgleichsströmungen. Auch die Kaltluftproduktivität der vegetationsbestimmten Freiflächen kann aus dem Temperaturfeld hergeleitet werden (Kap. 12).

Die Überwärmung sollte vor allem wegen ihrer Bedeutung für das Prozessgeschehen im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan berücksichtigt werden. Welche Methode zur Abgrenzung der überwärmten Bereiche zur Anwendung kommt, hängt vom klima- und immissionsökologischen Belastungspotenzial des Wirkungsraumes ab. Ist eine höhere Genauigkeit nötig, sind Messfahrten und/oder Modellrechnungen unumgänglich.

10.1.1 Ableiten der potenziell überwärmten Bereiche aus den Siedlungsstrukturtypen

Siedlungsstrukturtypen lassen sich im allgemeinen bestimmte potenzielle Überwärmungsintensitäten zuordnen (Tab. 8). Dadurch ist eine vereinfachte Ermittlung und Einstufung der potenziell überwärmten Bereiche möglich.

Die unterschiedliche Überwärmung der Siedlungsstrukturtypen resultiert aus spezifischen Oberflächeneigenschaften, Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherkapazität und Abwärmeemissionen. Zusätzlich trägt in urban geprägten Räumen die nächtlich reduzierte effektive Ausstrahlung (Dunstglocke) zu einem höheren Lufttemperaturniveau bei. Die ungefähre Überwärmungsintensität kann deshalb u. a. über die Struktureigenschaft »Versiegelungsgrad« abgeschätzt werden. Die relative Einstufung der Überwärmungsintensität von verschiedenen Bebauungs- und Nutzungsstrukturen sowie die Abschätzung der Temperaturerhöhung basiert auf Untersuchungsergebnissen aus Hannover und Braunschweig (MOSIMANN et al. 1992a und 1992b). Daneben wurden auch noch Untersuchungen aus anderen Räumen berücksichtigt (u. a. BRÜNDL et al. 1986, BECKRÖGE 1990, STADT MÜNSTER 1992).

Generell sind höher verdichtete Wohnbauflächen (Block-, Blockrand- und Hochhausbebauung), Industrie-/Gewerbeflächen und Gemeinbedarfsflächen und Zentren / Stadtteilzentren potenziell überwärmte Flächen. Je kleiner die Siedlungen, die Entfernung zum Umland, die jeweiligen Siedlungsstrukturtypen und die auftretende Versiegelungsintensität, desto geringer ist die Überwärmung.

10.1.2 Ableitung der Überwärmungsintensität aus Messungen

Aus dem durch Messfahrten ermittelten Lufttemperaturfeld können die überwärmten Flächen in Wirkungsräumen gemäß Tab. 9 direkt bestimmt werden.

Tab. 9: Ableitung der Überwärmungsintensität aus Messfahrten. - Aus MOSIMANN et al. (1992a)

Positive Temperaturabweichung vom Mittel der Messfahrten (%)	Einstufung der Überwärmungsintensität
> 30	sehr hoch
> 20 – 30	hoch
> 10 – 20	mittel
≦ 10	gering

Tab. 8: Potenzielle Überwärmungsintensität von Siedlungsstrukturtypen.
Temperaturangaben in Kelvin (K) als Abweichung vom Gebietsmittel der Messfahrten.

Siedlungsstrukturtypen	potenzielle Überwärmungsintensität	ungefähre potenzielle Überwärmung (K) Großstädte	Klein- / Mittelstädte
Zentrum / Stadtteilzentrum	hoch – sehr hoch	> 4	> 2
Block- / Blockrandbebauung	hoch – sehr hoch	> 3	1 – 2
Industrie- und Gewerbefläche	mittel – hoch	2 – 3	1 – 2
Gemeinbedarfsfläche	mittel – hoch	> 2	> 1
Hochhausbebauung	gering – hoch	1 - 2	> 1
Zeilenbebauung	gering – mittel	> 1	0 – 1
Alte Ortskerne	gering – mittel	0 – 1	0 – 1
Einzel- / Reihenhausbebauung	gering	0 – 1	0 – 1

10.2 Abschätzung der bioklimatischen Situation

Die bioklimatisch belastenden Verhältnisse in Wirkungsräumen können charakterisiert werden durch
- das Auftreten von Wärmebelastung in Form von Hitzestress und Schwüle (hohe Temperaturen, geringe Luftbewegung und/oder hohe Feuchte) sowie
- die Kältebelastungen wie Kältereize und Nasskälte (niedrige Temperaturen, starke Bewölkung und/oder hohe Windgeschwindigkeit und hohe Feuchte).

Diese Wettersituationen beeinflussen je nach Intensität und Häufigkeit das Wohlbefinden des Menschen erheblich (HÖPPE 1985). Schwache, ältere, kranke Menschen sowie Kleinkinder reagieren besonders empfindlich.

Die Einflüsse sollten in den größeren Städten (Richtwert: mehr als 50.000 Einwohner) der klimaökologischen Regionen Geest/Börde und Berg-/Bergvorland betrachtet werden. Besondere Kältereize können natürlich vor allem im Harz auftreten. Wärmebelastung tritt in Niedersachsen generell eher selten, wenig ausgeprägt und nur in lokal eng umgrenzten Teilflächen der Städte auf (JENDRITZKY et al. 1990). Ob eine Bearbeitung sinnvoll und notwendig ist, kann auch über die thermische Situation (Kap. 10.1) im Zusammenhang mit der Lage des Wirkungsraums im Relief geklärt werden. Bioklimatisch ungünstig wirken sich dabei Becken- und Tallagen mit stark reduzierten Austauschbedingungen und hohem Feuchteangebot aus.

Die Bewertung der humanbioklimatischen Verhältnisse geschieht durch einfache Komplexgrößen, die aus Messfahrten abgeleitet werden, oder durch den Einsatz kombinierter Strahlungs- und Wärmebilanzmodelle. Eine gesicherte quantitative Behandlung der thermischen Belastung ist durch Modelle gewährleistet. Nur hochauflösende Modelle liefern aber gute Ergebnisse, weil die Licht- und Schattenverhältnisse in der Bebauung die bioklimatische Belastung maßgeblich bestimmen. Eine Modelleinsatz ist aber nur im Rahmen von vertiefenden Untersuchungen sinnvoll.

10.2.1 Methodische Ansätze

Äquivalenttemperatur
Das Schwülemaß »Äquivalenttemperatur«, das auf der Lufttemperatur und der Luftfeuchte basiert, ist als einfache bioklimatische Kenngröße sinnvoll für Übersichtsaussagen (u. a. DANZEISEN 1983). Diese Kenngröße berücksichtigt allerdings wichtige Einflussfaktoren wie Strahlung und Windgeschwindigkeit nicht. Differenzierungsgrad und Genauigkeit der Aussagen bleiben eingeschränkt.

Gemäß früherer Arbeiten des DWD kann als Schwelle für empfundene Schwülebelastung eine Äquivalenttemperatur ≧ 49° C angenommen werden. Kältebelastung tritt bei ≦ 27° C auf. Die für die Berechnung der Äquivalenttemperatur benötigten meteorologischen Daten lassen sich durch Messfahrten ermitteln (Kap. 8.1). Können zusätzlich Messreihen verschiedener Stationen ausgewertet werden, lässt sich die Bewertung über die Angabe der Zahl der Tage mit Wärme- oder Kältebelastung weiter differenzieren (vgl. NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART 1992).

Strahlungs- und Wärmebilanzmodelle
Eine gesicherte Beschreibung des menschlichen Wärmehaushalts ermöglichen Strahlungs- und Wärmebilanzmodelle (Klima-Michel-Modell - KMM - von JENDRITZKY et al. 1979), Münchner Energiebilanzmodell - MEMI - von MAYER 1986 usw.). Die Beurteilung des thermischen Milieus erfolgt u. a. mit den Indizes PMV [1] und PET [2] (VDI-KRDL 1988, VDI-RICHTLINIE 3787 BL. 2 - 1998).

Bei den Modellen werden hohe Anforderungen an verfügbare meteorologische Eingangsdaten und Daten zu Raumstruktur, Daten zu angemessener Bekleidung usw. sowie Soft- und Hardwarebedingungen gestellt. Bedienungsfreundliche Modelle sind nicht erhältlich, und eine Umsetzung der Algorithmen ist mit zuviel Aufwand verbunden. Eine Berechnung kann also nur bei den Stellen in Auftrag gegeben werden, die solche Modelle entwickelt haben (Anbieter: u. a. DWD, TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt, Universitätsinstitute, umweltmeteorologische Büros). Die Verwendung von veröffentlichten, statistisch hergeleiteten oder berechneten Bioklimakarten in kleineren Maßstäben (JENDRITZKY et al. 1990) ist wegen der zu geringen Auflösung für die planungsbezogene Betrachtung von Wirkungsräumen stark eingeschränkt (Kap. 6.1).

Der Einsatz von Strahlungs- und Wärmebilanzmodellen bringt eine gesicherte quantitative Beschreibung der bioklimatischen Verhältnisse. Gemessen an dem geringen bioklimatischen Belastungspotenzial in Niedersachsen steht eine solch aufwendige Analyse allerdings in einem schlechten Verhältnis zum Stellenwert des Problems.

10.3 Bestimmung von Kaltluftseen und Kaltluftsammelgebieten

In Mulden, Senken, Talbereichen und Becken sammelt sich während windschwacher Strahlungswetterlagen kühlere Luft an. Nach der Größe werden dabei Kaltluftseen (Kaltluftsammlung in kleineren Geländesenken, Mulden und einzelnen Tälern) von Kaltluftsammelgebieten (Talsysteme und Beckenlandschaften) unterschieden. Diese Kaltluft fließt von Hängen und Tälern her zu und bildet sich z. T. auch vor Ort. Dieses Phänomen hat folgende Auswirkungen auf die lokale Klima- und Luftsituation:
- Reduzierte Jahresmitteltemperaturen bei gleichzeitiger Erhöhung der Luftfeuchte.
- Stark reduzierter horizontaler und vertikaler Luftaustausch.
- Frostgefährdung für die Vegetation während der Vegetationszeit.
- Häufigere Nebelbildung.
  Zusätzliche Kältebelastung beim Menschen.
- Bei örtlichen Emissionen Ausbildung von Immissionssenken.

Bereiche mit Kaltluftakkumulation lassen sich methodisch einfach und eindeutig über Messfahrten/-gänge unter Berücksichtigung der verschiedenen Reliefformtypen lokalisieren. Es erscheint allerdings nicht sinnvoll,

[1] PMV, Predicted Mean Vote: Skaliertes Maß für die Bewertung des Behaglichkeitsempfindens, basierend auf der Behaglichkeitsgleichung nach FANGER (1972). Es gibt an, welche Einschätzung das thermische Milieu im Mittel durch ein großes Kollektiv von Personen erfährt.

[2] Physiologisch äquivalente Temperatur: aus MEMI abgeleitete Bewertungsgröße, basierend auf der Wärmebilanzgleichung. Sie definiert die Lufttemperatur, bei der die Wärmebilanz eines Menschen im Innenraum wie bei den Bedingungen im Freien ausgeglichen ist.

Temperaturmessungen nur zur Ermittlung der Kaltluftseen und Kaltluftsammelgebiete durchzuführen. Eine Ableitung dieser Areale aus Messfahrten ist also eher ein interessantes »Nebenprodukt«, wenn ohnehin Messfahrten stattfinden. Ist dies nicht der Fall, können die Bereiche mit Kaltluftsammlung mit Schätzverfahren eingegrenzt werden.

10.3.1 Ermittlung der Kaltluftseen und Kaltluftsammelgebiete aus Messfahrten

Das durch Messfahrten ermittelte, hochauflösende Lufttemperaturfeld (Kap. 8.1) gibt detaillierte Auskunft über die Bereiche mit besonders niedrigen Temperaturen im Vergleich zum Gebietsmittel, vorausgesetzt die Messroute wurden entsprechend konzipiert, d. h. die potentiellen Kältesenken wurden berücksichtigt. Bereiche mit Kaltluftansammlung können aus dem Lufttemperaturfeld nach folgenden Bedingungen ermittelt werden:

- Negative Temperaturabweichung vom Gebietsmittel der Messfahrt: ≧ 2 K.
- Negative Temperaturabweichung fällt mit einer Hohlform und/oder Austauschbarriere zusammen.

Die Bereiche mit Kaltluftakkumulation lassen sich dann folgendermaßen ausweisen:

■ Bei Hohlformen wird über Temperaturprofilschnitte durch die Sammelgebiete die Kaltluftobergrenze am Hang bestimmt. Dies ist der Höhenbereich, in dem sich die stagnierende Kaltluft noch nachweisen lässt. Über die Höhenlinien erfolgt direkt die Abgrenzung des Kaltluftsammelbereichs.

■ Bei Austauschhindernissen entspricht das Kaltluftsammelgebiet dem Staubereich hinter der Austauschbarriere. Lage und Geometrie des Hindernisses bestimmen demnach die Größe der Kaltluftansammlung. Nach KING (1973) erreicht der Staubereich eine Ausdehnung zwischen dem 5 bis 10fachen Wert der Hindernishöhe. Über diesen Wert und die Lagebeziehung lässt sich das Kaltluftsammelgebiet bestimmen.

10.3.2 Empirisch-statistische Modellierung der geländeabhängigen Minimumtemperaturen

Über die funktionalen Zusammenhänge zwischen Reliefform, Geländehöhe, Oberflächenstruktur und Minimumtemperaturen können die Minimumtemperaturen für einen Geländeausschnitt mit einem empirisch-statistischen Ansatz modelliert werden (DUTTMANN et al. 1994: Modellgleichungen für die Geest). Es wird dabei die Abweichung vom Gebietsmittelwert der Minimumtemperatur (in Kelvin) bestimmt und flächendeckend für den Untersuchungsraum dargestellt (Beispiel in Abb. 7). Aus dem simulierten Temperaturfeld lassen sich Kaltluftseen und Kaltluftsammelgebiete ableiten und Rückschlüsse auf die Kaltluftproduktion unterschiedlicher Freiflächentypen in verschiedenen Relieflagen ziehen (Kap. 12).

10.4 Abschätzung der Durchlüftungsverhältnisse

Eine flächendeckende Analyse der Windverhältnisse ist nicht Gegenstand der Klimabeurteilung im Rahmen der Landschaftsplanung. Die Durchlüftungsverhältnisse im Wirkungsraum, d. h. das durch Relief- und Oberflächenstrukturen veränderte Windfeld, interessieren dagegen besonders, da sie die klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse maßgeblich beeinflussen.

Generell vermindern aufragende Rauigkeitselemente (Relief- und Oberflächenstrukturen) die Windgeschwindigkeit infolge der erhöhten Oberflächenreibung (Abb. 23). Ausnahmen sind Geschwindigkeitserhöhungen im Luv- und Kuppenbereich von Erhebungen als Folge von Düseneffekten sowie Eckeneffekten an relief- und strukturbedingten Engstellen (Windstress). Gleichzeitig führt die erhöhte Turbulenz über strukturreichen Oberflächen zum verstärkten Vertikalaustausch, der nur nachts durch stabile Schichtungsverhältnisse eingeschränkt wird (BECKRÖGE 1990).

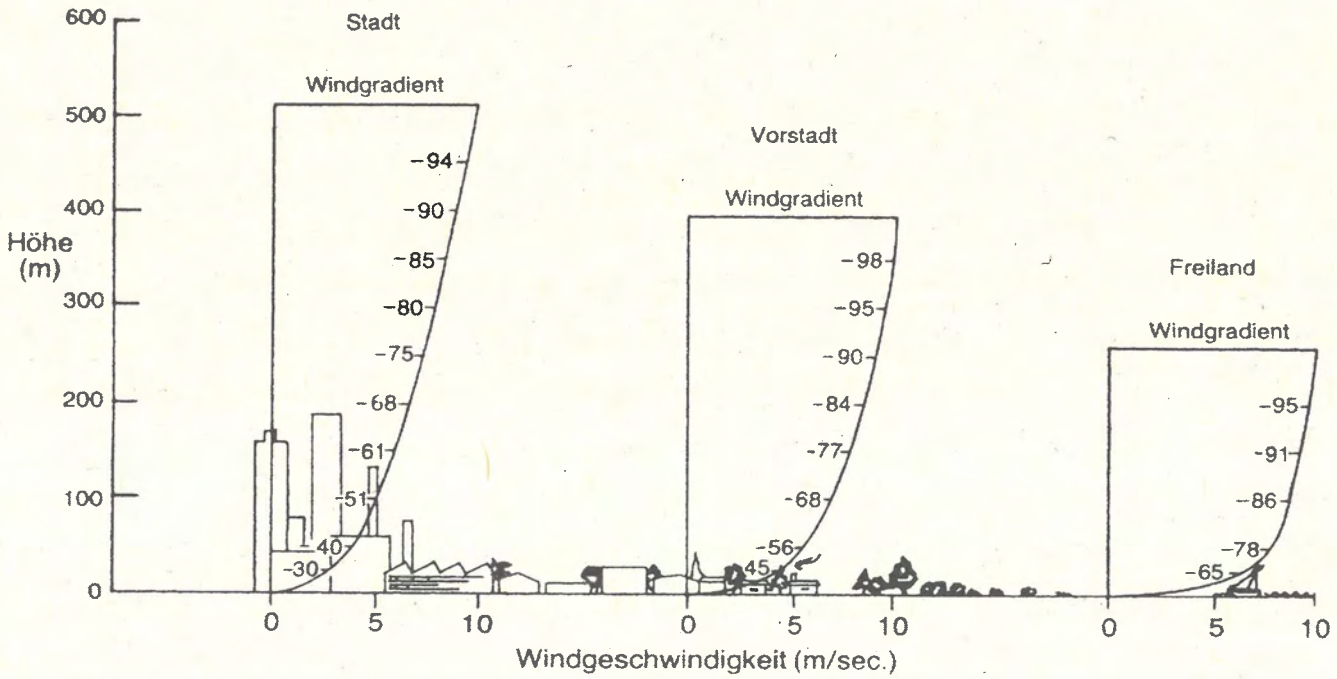


Abb. 23: Einfluss der Rauigkeit auf das Windprofil. Aus: VDI-KRDL 1999: Abb. 3.26, S. 66. Abdruck mit frdl. Genehmigung des Springer-Verlags.

Bereiche mit Windstress beeinträchtigen die Aufenthaltsbedingungen in urban geprägten Räumen und Erholungsgebieten. Als Grenze für ventilationsabhängige Behaglichkeit wird eine Windgeschwindigkeit von 6,5 m/s angenommen (SOCKEL 1994). Fußgänger empfinden Windgeschwindigkeiten von mehr als 5 m/s als unangenehm. Sehr unangenehm wirken Windgeschwindigkeiten von mehr als 10 m/s. Es handelt sich um meist kleine Bereiche, so dass diese Fragestellung i. d. R. nur auf der LP-Ebene zu behandeln ist. Über die Kenntnis von Bereichen mit Windstress lässt sich die Bedeutung der Windschutzfunktion bestehender Vegetationsstrukturen ableiten (Kap. 9). Vor allem gibt eine Analyse der Durchlüftungsverhältnisse aber Aufschluss über Bereiche mit stark eingeschränkten Austauschverhältnissen (Kap. 10.3) und hilft bei der Beurteilung der lufthygienischen Verhältnisse (Kap. 11).

10.4.1 Charakterisierung der Luftaustauschbedingungen über vorhandene Windstatistiken

Vor der Ermittlung der Durchlüftungsverhältnisse stellt sich die Frage nach der allgemeinen Windsituation im Plangebiet. Die möglichst langjährigen Windstatistiken können u. a. Aufschluss geben über

- die Wertigkeit von Schadstoffquellen im Umfeld des Untersuchungsraums (Häufigkeit des Anströmens) und die generelle Neigung eines Planungsraums zur Luftstagnation und Schadstoffakkumulation. Als Indikator dienen die mittleren Luftaustauschbedingungen in Abhängigkeit von den Windrichtungen.
- die Relevanz von eigenbürtigen Luftaustauschprozessen im Untersuchungsraum. Sie lässt sich aus der Häufigkeit des Auftretens austauschschwacher und austauschstarker Wetterbedingungen und -lagen ableiten.
- die lufthygienischen (und/oder bioklimatischen) Belastungsschwerpunkte im Jahresgang. Belastungsmaxima und -minima lassen sich aus dem jahreszeitlichen Verlauf der Luftaustauschbedingungen ermitteln.

Über die Charakterisierung der Luftaustauschbedingungen lassen sich somit die generellen Ausbreitungsverhältnisse sowie ihre zeitliche und räumliche Varianz erfassen, was die Aussagegenauigkeit der im folgenden beschriebenen Methoden (Kap. 10.4.2 und 10.4.3) verbessert. Gleichzeitig ergeben sich hieraus Informationen zur Frage, welche klimatisch-lufthygienischen Belange überhaupt und in welchem Umfang bearbeitet werden sollten. Dies gilt vor allem für die klimaökologischen Regionen Küstennaher Raum sowie Geest- und Bördebereich.

Bemerkungen zu den verwendbaren Windstatistiken und Datengrundlagen

In der Regel können vollständige Standard-Windstatistiken von den Messstationsbetreibern (DWD und NLÖ) bezogen werden. Liegen die Messdaten nicht aufbereitet vor, sind sie u. a. gemäß VDI-RICHTLINIE 3786 BL.2 (1988) auszuwerten.

Zumindest eine langjährige Messreihe von ≧ 10 Jahren einer repräsentativen Messstation mit Freilandcharakter sollte konsultiert oder ausgewertet werden, um einen Überblick über die mittleren Windverhältnisse zu bekommen.

Die Auswertung sollte getrennt nach austauschstarken und austauschschwachen Windsituationen anhand folgender Schwellenwerte erfolgen:

- Austauschschwache Situationen:
  Windgeschwindigkeiten ≦ 1,5 m/s.
- Austauschstarke Situationen:
  Region 1 Windgeschwindigkeiten ≧ 8 m/s,
  Regionen 2 und 3 Windgeschwindigkeiten ≧ 5,5 m/s.

Liegen keine Stationsdaten vor, kann die Häufigkeit von austauschschwachen und -starken Wetterlagen vereinfacht mit Hilfe von Wetterlagenstatistiken abgeschätzt werden. Die Wetterlagenstatistiken in den monatlichen Witterungsberichten werden hierbei entsprechend ihrer Austauscharmut bzw. -stärke klassifiziert. Grundlage bilden die Wetterlagenzusammenfassungen von EMONDS (1986) oder BECKRÖGE (1990), basierend auf der Einteilung von HESS & BREZOWSKY (1969).

10.4.2 Qualitative Beschreibung der Luftaustauschbedingungen verschiedener Relieftypen und Oberflächenstrukturen

Eine allgemeine Übersicht zum gelände- und strukturabhängigen, tageszeitlich unterschiedlichen horizontalen und vertikalen Luftaustausch gibt die Tabelle 10. Daraus lässt sich auf LRP- und LP-Ebene im Geest- und Bördebereich sowie im Berg- und Bergvorland eine grobe Beschreibung der Durchlüftungsverhältnisse ableiten.

Im bebauten Gebiet interessiert eine etwas differenziertere Betrachtung der Windgeschwindigkeitsreduktion in den verschiedenen Struktureinheiten. Die Herabsetzung der potenziellen mittleren Durchlüftung für die verschiedenen Flächeneinheiten kann mit Hilfe von Tabelle 11 in sechs Stufen bestimmt werden. Auch diese Zuordnung der Durchlüftungsintensitäten hat den Charakter einer Ersteinschätzung.

Grundlage sind Berechnungsergebnisse aus Untersuchungen in Hannover (MOSIMANN et al. 1992a) und Essen (STOCK & BECKRÖGE 1985) [1]. Im allgemeinen lassen sich den verschiedenen Klassen von Oberflächenstrukturen charakteristische Durchlüftungsbedingungen gut zuordnen. Lediglich für Industrie-/Gewerbeflächen und Einkaufszentren muss die Einstufung im Einzelfall nach Versiegelungsintensität, Strukturhöhe und Bebauungsdichte vorgenommen werden (Kap. 7.1: Kenngrößen der Oberflächenstrukturen).

Die Einstufung der bodennahen Durchlüftungsintensität nach klimaökologischen Struktureinheiten reicht für die Beurteilung der urbanen Räume im Geest- und Bördebereich sowie auch im küstennahen Raum aus. Im Berg- und Bergvorland müssen dagegen die Auswirkungen der Relieflage bei der Einstufung mit berücksichtigt werden.

[1] Die Berechnungen von Windgeschwindigkeit, Rauigkeit des Untergrunds und Verdrängungsdicke (dies ist die durch Bebauung am stärksten beeinflusste, bodennächste Luftschicht) wurden mit dem logarithmisch-linearen Windprofil sowie nach dem Verfahren von LETTAU (1969) und STANHILL (1969), aus BECKRÖGE (1988 und 1990), ermittelt.

Tab.10: **Beeinflussung des bodennahen Luftaustausches in verschiedenen Relief- und Oberflächenstrukturen** (nach BECKRÖGE 1990, verändert)

Relieftypen und Oberflächenstrukturen	horizontaler Luftaustausch	vertikaler Luftaustausch
Rücken, Kuppe	■ Geschwindigkeitserhöhung im Luv ■ Geschwindigkeitsverringerung im Lee ■ Verstärkte Turbulenz im Luv	■ Verstärkter Vertikalaustausch durch Turbulenz
Tal	■ Geschwindigkeitsverringerung bei Quer- und Schräganströmung ■ Geschwindigkeitserhöhung durch Düseneffekte bzw. Leitwirkung ■ Geschwindigkeitserhöhung tagsüber bei hoher Einstrahlung ■ Bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen nachts bei Talsohlenneigungen > 1° erhöhter Horizontalaustausch ■ Ansonsten in stagnierenden bodennahen Luftmassen stark reduzierter Luftaustausch	■ Nachts Verringerung des Vertikalaustausches bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen auf Grund stabiler Schichtungsverhältnisse ■ Bei Aufheizung durch Einstrahlung verstärkter Vertikalaustausch
Bebauung	■ Generelle Geschwindigkeitsverringerung bis hin zur nahezu völligen Abkopplung in Bereichen, die von Bebauung und/oder hohen Vegetationsstrukturen abgeschlossen sind ■ Geschwindigkeitserhöhung durch Düsen- und Eckeneffekte sowie Leitbahnwirkung ■ Erhöhte Turbulenz vor allem tagsüber ■ Nachts bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen z. T. verstärkter Horizontalaustausch durch thermisch bedingte Austauschströmungen und thermische Turbulenz	■ Verstärkter Vertikalaustausch tagsüber durch Turbulenz ■ Bei guten Ausstrahlungsbedingungen auch nachts innerhalb der städtischen Dunstglocke verstärkter Vertikalaustausch
Freiflächen	■ Geschwindigkeitsverringerung tagsüber in Bereichen höherer Rauigkeit und nachts bei fehlendem Kaltluftströmungseinfluss ■ Geschwindigkeitserhöhung in Leitbahnen und strukturbedingten Engstellen ■ Nachts bei austauschschwachen Strahlungswetterlagen verstärkter Horizontalaustausch, bedingt durch Thermik und Relief	■ Nachts verringerter Vertikalaustausch durch stabilere Schichtungsverhältnisse und verringerte Turbulenz ■ Tagsüber verstärkter Vertikalaustausch vor allem bei Strahlungswetterlagen

Tab. 11: **Potentielle mittlere Durchlüftungsverhältnisse in verschiedenen Oberflächenstrukturen.**

Klimaökologisch relevante Oberflächenstrukturen	Einstufung der potentiellen bodennahen Durchlüftung *
Gewässer, Grün- und Parkanlagen, Spiel- und Sportanlagen, Wiesen / Weiden, Ackerflächen, Verkehrsflächen, Ruderalflächen, Brachflächen, Flächen mit einzelnen Gehölzen	sehr hoch
Einzel- / Reihenhausbebauung, Einzelanwesen, Friedhöfe, Garten- und Obstbauflächen, Gehölze	hoch
Zeilenbebauung, Hochhausbebauung mit hohen Freiflächenanteil, Gemeinbedarfsflächen, alte Ortskerne	mittel
Industrie- und Gewerbeflächen, Einkaufszentren	gering – hoch (je nach Grad der Überbauung)
Block-, Blockrandbebauung, Wälder	gering
Dichte Hochhausbebauung, Stadtzentren	sehr gering

* In ausgeprägten Tallagen und vorrangig windabgewandten Hangbereichen Durchlüftung der entsprechenden Oberflächenstrukturen je eine Klasse niedriger einstufen.

10.4.3 Abschätzung der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse

Die bodennahen Durchlüftungsverhältnisse in den klimaökologischen Regionen Geest/Börde und Bergland können mit einem vom DWD entwickelten, einfachen Bewertungsverfahren abgeschätzt werden. Hieraus resultiert eine räumliche Differenzierung nach Bereichen mit geringer, mittlerer und guter Durchlüftungssituation (z.B. STADT BONN 1991). Die Erstellung der Karte »Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse« (Abb. 24) sowie die notwendigen Grundlagenkarten können beim DWD in Auftrag gegeben werden.

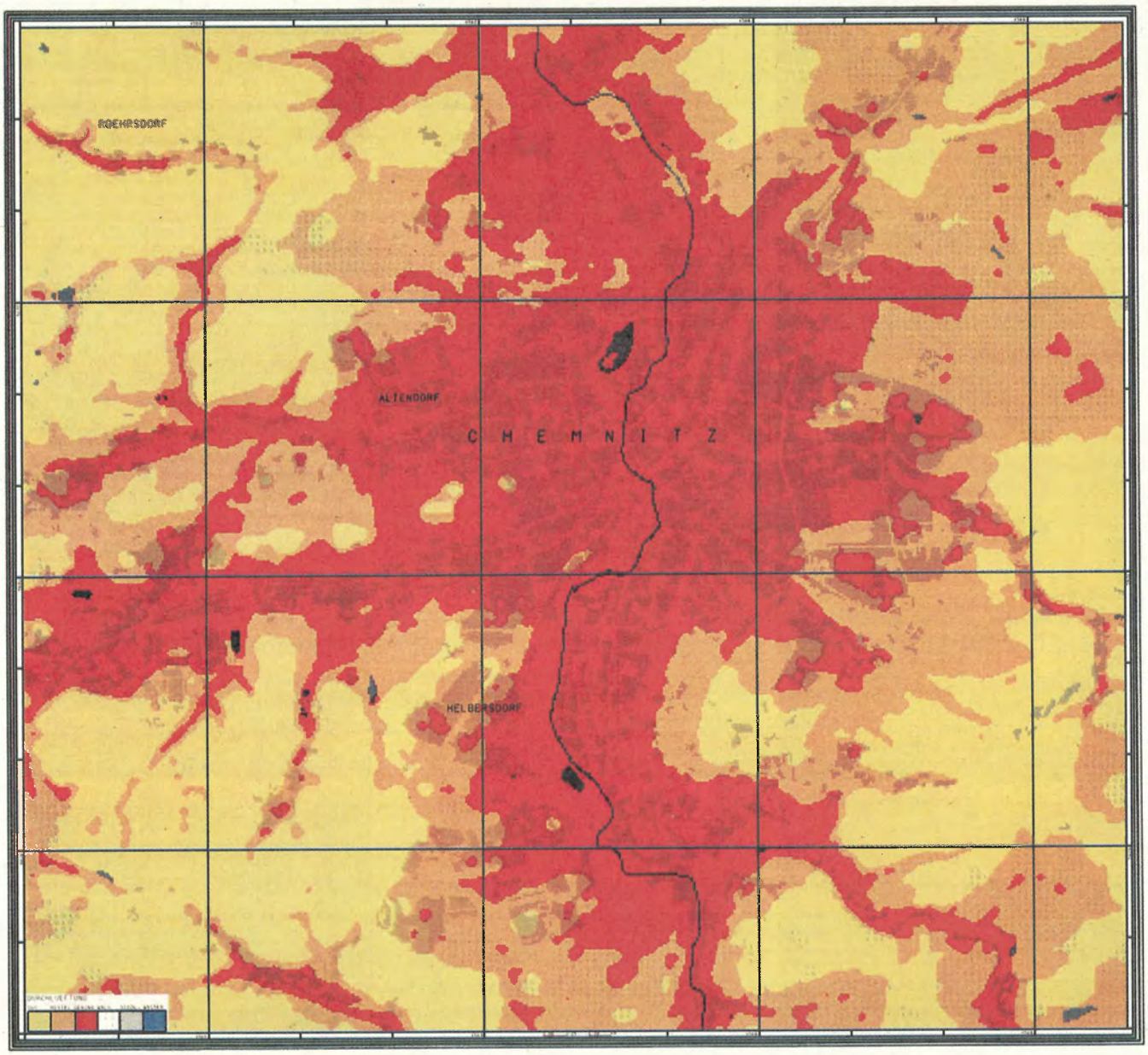


Abb. 24: Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse im Raum Chemnitz (Maßstab 1 : 25.000). Aus: STADT CHEMNITZ (1993).
gelb: gute Durchlüftung; **orange**: mittlere Durchlüftung; **rot**: geringe Durchlüftung.

11 Ermittlung der lufthygienischen Situation im Plangebiet

11.1 Auswertung vorhandener Lufthygienedaten

Um das Ausmaß von lufthygienischen Belastungen einzuschätzen, können folgende Informationen sinnvoll sein:
- Anteil der Quellgruppen (Verursacher) an den Emissionen und Emissionsmengen einzelner Luftschadstoffe sowie ggf. die räumliche Verteilung (Emissionskataster).
- Örtliche Immissions- und Depositionsmengen und deren Jahresverläufe in Abhängigkeit von den Luftaustauschbedingungen (Herkunft der Daten: Stationen).
- Räumliche Verteilung von Immissionen und Depositionen einzelner Luftschadstoffe (Herkunft der Daten: Immissionsmessprogramme und Messnetze).

Die Beschreibung der lufthygienischen Situation erbringt eine erste Übersicht über Räume mit klima- und immissionsökologischem Konflikt- oder Entlastungspotenzial. Aus den lufthygienischen Standardgrößen ergibt sich auch, wie notwendig Immissionsschutz bzw. Emissionsminderung im Bereich von lufthygienisch empfindlichen Räumen (vgl. Kap. 14 und 10.3) sind.

Anforderungen an die Interpretation von vorhandenen Lufthygienedaten

Bei den Auswertungen der stationären Immissions- und Depositionsdaten müssen die standörtlichen Bedingungen der Messstation (Austauschverhältnisse, Lage zu Emissionsquellen usw.) im Hinblick auf die gewünschten Aussagen genau beurteilt werden. Die Beurteilung der Immissions- und Depositionsmengen sollte auf der Basis von Luftqualitätsstandards erfolgen (vgl. Tab. 2).

Die neuen Grenzwerte und Beurteilungswerte der EU, die in den Tochterrichtlinien zur EU-Rahmenrichtlinie 96/62/EG »Über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität« vorliegen – so die Richtlinie 99/30/EG – dienen dem Schutz der menschlichen Gesundheit, der Vegetation und der Ökosysteme.

Nutzungsspezifische Standards wurden z. B. von KÜHLING (1986) festgelegt. Kritische Schwellenwerte existieren akzeptorenbezogen für ausgewählte Immissionskenngrößen und zur Beurteilung von Schadstoffdepositionen (u. a. KÜHLING & PETERS 1994, NILSSON & GRENNFELT 1988). Bei Unterschreiten dieser Werte sind Auswirkungen vernachlässigbar.

Die nutzungsabhängigen Mindeststandards und kritischen Schwellenwerte haben einen prinzipiellen Vorteil gegenüber den gesetzlich festgelegten Grenzwerten für Schadstoffbelastungen: Sie sind stärker auf Akzeptoren ausgerichtet und stellen damit Vorsorgewerte dar.

11.2 Bestimmung von wichtigen Emissionsquellen

Die wichtigen Emissionsquellen in Niedersachsen sind der Straßenverkehr und die Industrie- und Gewerbebetriebe. Der Hausbrand beeinflusst die lufthygienische Situation in einigen Stadtteilen mit vorrangiger Ofenfeuerung noch erheblich. Erhebungen zu Hausbrand-Emissionen sind aufwendig und deshalb im Rahmen einer planerischen Beurteilung kaum durchführbar. Diese Quellgruppe wird deshalb hier nicht weiter behandelt.

Falls keine Immissionsdaten vorhanden sind, ist die Emissionsbetrachtung von charakteristischen Luftschadstoffen der Quellen Verkehr und Industrie / Gewerbe eine effiziente Möglichkeit für eine lufthygienische Einschätzung der Situation im Plangebiet. Während im Bereich Verkehr dafür generell alle notwendigen Eingangsdaten zur Verfügung stehen, sind sie bei der Quellgruppe Industrie / Gewerbe nicht ohne weiteres greifbar.

11.2.1 Abschätzung von Verkehrsemissionen

Eine Beurteilung der Verkehrsemissionen wird für folgende immissionsökologische Auswertungen benötigt:
- Ausweisung der lufthygienischen Belastungsgebiete im Untersuchungsraum.
- Beurteilung der Wirksamkeit von Leitbahnen (Kap. 13.3).
- Bestimmung der Immissionsschutzfunktion bzw. der Notwendigkeit von filterwirksamen Oberflächenstrukturen (Kap. 14).

Die Verkehrsemissionen sind ein wichtiger Parameter, weil
- die Luftbelastung in Niedersachsen hauptsächlich durch den Straßenverkehr bedingt ist (NLÖ 1998),
- der Anteil des Verkehrs an den Gesamtemissionen von CO und NO_2 in Städten inzwischen mehr als 2/3 beträgt (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN 1996),
- der räumliche Differenzierungsgrad der Emissionen hoch ist,
- es sich um bodennahe Emissionen handelt,
- die Vorbelastung von klimaökologisch relevanten Austauschströmungen i. d. R. auf bodennahe Verkehrsemissionen zurückgeht.

Die Berechnung der Verkehrsemissionen basiert in den Grundsätzen auf dem Verfahren nach dem MLuS-92 (Merkblatt über Luftvereinigung an Straßen; FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN 1996). Das Vorgehen ist linienorientiert. Die Aussagegenauigkeit der Ergebnisse hängt von der Güte des Eingangsparameters »Verkehrsmenge« ab. Von einem rasterorientierten Vorgehen wird abgeraten, weil bei gleichem Arbeitsaufwand keine flächenscharfe Aussage möglich ist.

Verkehrsemissionen sollten berechnet werden, wenn potenzielle Belastungsräume vorhanden sind und keine flächenhaft differenzierenden Immissionsdaten zur räumlichen Beurteilung der lufthygienischen Verhältnisse vorliegen. Eine Bearbeitung ist für den LRP und LP in allen Regionen relevant. Es gelten aber verschiedene Kriterien für die zu berücksichtigenden Straßen:
- LRP: Straßenabschnitte mit Verkehrsbelastungen ab 10.000 KFZ/24h berücksichtigen.
- LP: alle Straßenabschnitte mit mehr als 2.000 KFZ/24h einbeziehen.

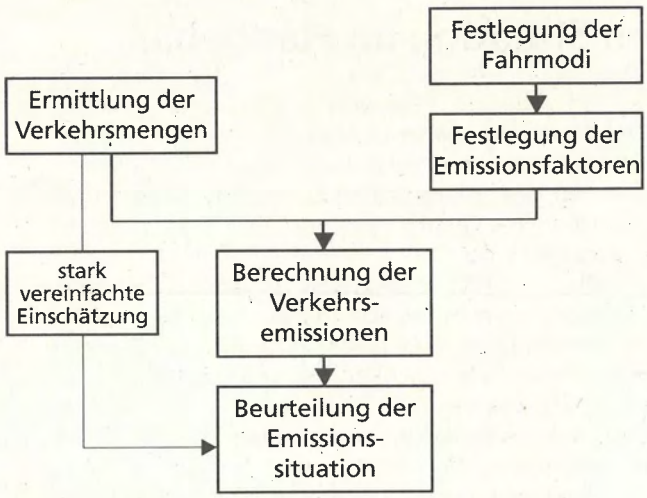


Abb. 25: Arbeitsablauf bei der Beurteilung von Verkehrsemissionen

Ermittlung der Verkehrsmengen
Es werden Ergebnisse von Verkehrszählungen in möglichst hoher Auflösung benötigt (Verkehrsmengenkarten und/oder -tabellen von Straßenverkehrsbehörden des Landes, der Kreise sowie kreisfreier Städte und Gemeinden). Berechnungsgrundlage sind Strecken gleicher Verkehrsbelastung (Straßenabschnitte zwischen zwei Verkehrsknoten). Für diese müssen zusätzlich die Fahrmodi festgelegt werden.

Es sollte eine Differenzierung nach PKW- und LKW-Anteil vorliegen. Andernfalls ist der LKW-Anteil zu schätzen. Im Stadtgebiet liegt dieser bei durchschnittlich 4 % bis 8 %, auf Autobahnen zwischen 25 % und 50 % (REUTER et al. 1991).

Wenn nur 12-Stunden-Zählwerte vorliegen, lassen sich diese mit dem Faktor 1,15 auf die durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge (DTV) umrechnen.

Festlegung der Fahrmodi
Der Schadstoffausstoß hängt stark vom Fahrverhalten ab. Zur Charakterisierung des Ausstoßes wurden deshalb Fahrmodi entwickelt (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN 1996). Diese Fahrmodi müssen für die jeweiligen Streckenabschnitte festgelegt werden. Die Beeinflussung durch den Tagesgang der Verkehrsbelastung kann über eine Verteilungsschätzung der auftretenden Fahrmodi berücksichtigt werden (REUTER et al. 1991).

Festlegung der Emissionsfaktoren
Für die Berechnung der Verkehrsemissionen benötigt man Schadstoffmengen oder Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrmodi und Fahrgeschwindigkeiten (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN 1996). Zur Anpassung der PKW-Emissionsfaktoren an die Bezugszeiträume ab 1990 existieren Reduktionsfaktoren. Für LKW gibt es keine derartigen Korrekturen. Generelle Aktualisierungen der Emissionsfaktoren liegen seit neuerem vor (UBA 1997, INFRAS 1995, IFEU 1995, TÜV RHEINLAND 1995 und 1993).

Die Emissionsfaktoren simulieren Verkehrsabläufe auf Straßen in städtischen Gebieten mit durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten bis 60 km/h. Falls Angaben zur konstanten Geschwindigkeit auf Autobahnen und anderen Straßen vorhanden sind, können mit Hilfe spezieller Emissionsfaktoren für unterschiedliche Geschwindigkeiten auch dort die Schadstoffmengen berechnet werden (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN 1996).

Berechnung der Verkehrsemissionen
Die Kenngröße »Verkehrsemission« wird bezogen auf Straßenabschnitte mit gleicher KFZ-Menge. Es lassen sich folgende Emissionen berechnen: Stickoxide, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe mit Benzol, Blei, Schwefeldioxid und Ruß.

Die Berechnung der täglichen KFZ-bedingten Emissionen geschieht nach folgender Formel (DER HESSISCHE MINISTER FÜR UMWELT, ENERGIE UND BUNDESANGELEGENHEITEN 1991):

$Ek(q,t) = n(q,t) \times ek(m) \times q$ (g/d)

Ek(q,t) = Schadstoffmenge der Abgaskomponente k für Streckenabschnitt q in der Zeit t (hier = ein Tag (d))
n(q,t) = Anzahl der KFZ n pro Streckenabschnitt q in der Zeit t
ek(m) = Mittlere Emission der Abgaskomponente k des KFZ beim Fahrmodus m

Beurteilung der Emissionssituation
Für die Beurteilung der errechneten Emissionen fehlen leider regionsspezifische Bewertungsansätze. Es erfolgt also eine relative raumbezogene Einstufung. Die jeweils vorhandene Spannweite bei den Emissionskennwerten gibt den Rahmen für die Beurteilung der Belastungssituation vor.

Tabelle 12 stellt als Beispiel die Einstufung der lufthygienischen Verhältnisse anhand der NO_2-Emissionen für Hannover dar. Die Klassifizierung kann für vergleichbare Untersuchungsräume als Orientierungshilfe dienen.

Tab. 12: Einstufung der Luftbelastung in Straßenräumen anhand der NO_2-Emission. Die angegebenen Wertespannen resultieren aus Untersuchungen in Hannover zum Zusammenhang zwischen NO_2-Immissionskonzentrationen und NO2-Emissionen. - Aus HERGERT et al. (1993).

NO_2-Emission (kg/h) pro Straßenmeter	Einstufung der lufthygienischen Situation
> 3,0	belastet
0,3 – 3,0	mäßig belastet
< 0.3	gering belastet

11.2.2 Ermittlung von bedeutsamen Emittenten aus der Quellgruppe Industrie / Gewerbe

Eine Beurteilung der Emissionen aus Industrie und Gewerbe wird für folgende klima- und immissionsökologischen Auswertungen benötigt:
- Ermittlung der lufthygienischen Belastungssituation
- Ableitung von Bereichen, die Immissionsschutz benötigen
- Beurteilung der Wirksamkeit von Leitbahnen (Kap. 13.3)
- Bewertung der Immissionsschutzfunktion von Oberflächenstrukturen (Kap. 14).

Für die Beurteilung der lufthygienischen Situation ist die räumliche Verteilung der bedeutenden Emittenten der Quellgruppen Industrie / Gewerbe und Landwirtschaft wichtig. Im Verbund mit den Verkehrsemissionen ist damit eine Abschätzung des lufthygienischen Belastungspotenzials im Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge möglich.

Die umfangreichsten Daten zum Problemfeld Industrie-/Gewerbeemissionen liegen in Form der Emissionserklärungen der Betriebe vor. Sie werden von den Gewerbeaufsichtsämtern und/oder den genehmigenden Behörden gesammelt und dort in digitaler Form gespeichert. Diese Daten unterliegen aber einem strengen Datenschutz und werden bisher mit Ausnahme der Listen der genehmigungsbedürftigen Anlagen i. d. R. nicht an Dritte weitergegeben.

Über eine mehrstufige Bewertung ist es möglich, diese Datenlücke zu verringern und eine Aussage zum branchenspezifischen Emissionspotenzial zu erhalten. Datengrundlage sind dabei Firmenlisten und Branchenzuordnungen aus allgemein zugänglichen Quellen (Firmen, s. u.). Der im folgenden skizzierte Verfahrensablauf (UVF 1994, BIERBAUM 1994) wurde für die EDV-gestützte Bearbeitung unter Einsatz eines Geographischen Informationssystems entwickelt, lässt sich aber auch analog umsetzen.

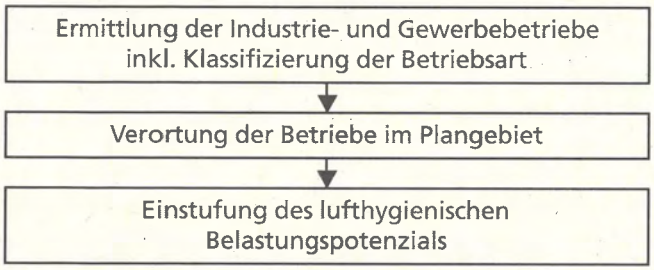


Abb. 26: Arbeitsschritte der Emittentenbewertung

Ermittlung der Industrie- und Gewerbebetriebe
Die Betriebe lassen sich über das Firmeninformationssystem (FIS) der Industrie- und Handelskammern ermitteln. Es können dort die Informationen »Firmenanschrift«, »Branchenkennzahl« und »Beschäftigtenzahl« bezogen werden. Zur Reduzierung des Arbeitsaufwands und aus Kostengründen ist es zweckmäßig, die Datenabfrage auf die Branchengruppen der Tab. 13 zu konzentrieren.

Tab. 13: In der Untersuchung zu berücksichtigende Branchengruppen

Branchenkennzahl*	Bezeichnung der Betriebe
20	Chemische Industrie
21	Herstellung von Kunststoff- und Gummiwaren
22	Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden, Feinkeramik, Glasgewerbe
23	Metallerzeugung und –bearbeitung
24	Stahl-, Maschinen- und Fahrzeugbau
25	Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik
26	Holz-, Papier- und Druckgewerbe
28 / 29	Ernährungsgewerbe, Tabakverarbeitung

* = erste zwei Ziffern der 5-stelligen Branchenkennziffer nach Branchenschlüssel (STATISTISCHES BUNDESAMT 1980)

Eine andere Informationsquelle sind die Betriebsstatistiken der Landkreise, Bezirksregierungen und Gewerbeaufsichtsämter. Liegt eine verwendbare Betriebsstatistik für das Plangebiet vor, müssen ggf. die Betriebe den zugehörigen Branchen bzw. Branchenkennzahlen gemäß Systematik der Wirtschaftszweige (STATISTISCHES BUNDESAMT 1980) zugeordnet werden.

Als zweiter »Filter« kann die Beschäftigtenzahl, als Hilfsgröße für die Betriebsgröße, benutzt werden. Betriebe unterhalb einer je nach Plangebiet festzusetzenden Mindestgröße bzw. Mindestbeschäftigtenzahl werden nicht berücksichtigt. Eine sinnvolle Untergrenze liegt bei 20 – 50 Beschäftigten. Da die Emissionsmengen natürlich nur beschränkt mit der Beschäftigtenzahl zusammenhängen, sind damit im Einzelfall Fehleinstufungen nicht zu vermeiden. Über einen größeren Raum hinweg geben die Einstufungen jedoch im allgemeinen eine richtige Tendenz wieder (BIERBAUM 1994).

Verortung der Betriebe im Plangebiet
Über die mitgelieferte Firmenanschrift kann jeder Betrieb über Karten- und Geländearbeit im Untersuchungsraum verortet werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich die Adressenangabe auf den Firmensitz bezieht und dieser natürlich nicht in jedem Fall mit der Produktionsstätte übereinstimmt. Hier müssen ggf. Korrekturen vorgenommen werden.

Bewertung des lufthygienischen Belastungspotenzials der Emittenten
Die immissionsökologische Bedeutung der Industrie- und Gewerbebetriebe wird auf Grundlage des Abstandserlasses aus Nordrhein-Westfalen (MURL 1990) klassifiziert. Der Abstandserlass ist ein Instrument zur Berücksichtigung des Immissionsschutzes (inkl. Lärm) in der Bauleitplanung. Er dient zur Minimierung von Immissionskonflikten zwischen den Nutzungen Wohnen und Erholen auf der einen und gewerblicher und industrieller Nutzung auf der anderen Seite. Im Rahmen des vorsorgenden Umweltschutzes bestimmt er für einzelne Betriebsarten Mindestabstände zu Wohn- und Erholungsgebieten. Diese Abstandsklassen lassen sich auch als Kriterium für das lufthygienische Belastungspotenzial der Betriebsarten heranziehen.

Die ermittelten Betriebe werden über ihre Branchenkennzahl oder Betriebsbezeichnung mit den aufgeführten Betriebsarten im Abstandserlass verglichen. Soweit die Bezeichnungen nicht übereinstimmen, ist entsprechend der Betriebscharakteristika eine sinnvolle Zuordnung durchzuführen. Über den Parameter Betriebsart werden dann die Betriebe in sieben Abstandsklassen eingeordnet. Eine Übersicht über die zu unterscheidenden Betriebsarten und Abstandsklassen gibt MURL 1990. Die Einstufung des lufthygienische Belastungspotenzials der Betriebe erfolgt über die Abstandsklassen (Tab. 14).

Tab. 14: Einstufung des Lufthygienischen Belastungspotenzials von Betrieben anhand des Abstanderlasses (MURL 1990 nach BIERBAUM 1994).

Abstandsklasse	Mindestabstand (m)	Lufthygienisches Belastungspotenzial	Beispiel für die Betriebsart
I	1500	Hoch	Erdölraffinerien
II	1000	Hoch	Aluminiumhütten
III	700	Hoch	Automobilfabriken
IV	500	Mäßig	Schlachtanlagen
V	300	Mäßig	Vulkanisierbetriebe
VI	200	Gering	Stanzereien
VII	100	Gering	Schreinereien

11.3 Räumlich differenzierte Abschätzung der Immissionssituation

Bei der Ermittlung der Immissionsverhältnisse sind vor allem Aussagen zu Belastungsschwerpunkten und relativ wenig belasteten Gebieten relevant. Dies gilt für den LRP und LP und regional vor allem für Geest, Börde und Berg-/Bergvorland.

Die Immissionssituation wird dabei am sinnvollsten über den Leitparameter NO_2 beschrieben. Wie in Kap. 11.2.1 bereits dargelegt, repräsentiert dieser Luftschadstoff die hauptsächliche Emissionsquelle in Niedersachsen – den Straßenverkehr. Außerdem ist NO_2 auf Grund seiner im Gegensatz zu anderen »klassischen« Schadstoffen (SO_2, Staub usw.) ansteigenden Emissionsentwicklung und den damit verbundenen höheren Immissionsbelastungen sowie durch seine hohe räumliche Variabilität besonders bedeutend.

Die Aussagegenauigkeit der Methoden hängt vor allem von den verfügbaren Datengrundlagen ab. Stehen keine Immissionsmessergebnisse zur Verfügung, kann nur eine einfache Ableitung der Immissionsverhältnisse über die Oberflächenstrukturen erfolgen. In diesem Fall sollten die Aussagen möglichst anhand anderer Kenngrößen zur Beschreibung der lufthygienischen Situation (Kap. 11.2) überprüft und ergänzt werden.

11.3.1 Ableitung der Immissionssituation aus den Oberflächenstrukturen

Klimaökologisch wirksame Struktureinheiten sind hinsichtlich der Austauschbedingungen und oft des Emittentenbestands vergleichbar und daher durch ähnliche mittlere Immissionsbelastungen einzelner Schadstoffkomponenten gekennzeichnet. Ganz grob lassen sich deshalb die potenziellen lufthygienischen Verhältnisse auch ohne Daten zur Immissions- und Emissionssituation einstufen. Eine solche einfache Ableitung besitzt vor allem in den städtischen Gebieten Gültigkeit, da die zugrunde liegenden Untersuchungsergebnisse aus Städten und ihrem Umland stammen.

Tabelle 15 fasst die Einstufung des Luftbelastungspotenzials in den Oberflächenstrukturen und Straßentypen zusammen. Die Einstufung beruht auf Auswertungen von TA-Luft-Messungen, die im Raum Frankfurt und Hannover nach dem im folgenden Kapitel beschriebenen Verfahren durchgeführt wurden. Bereiche mit besonders hohen Immissionsbelastungen können mit diesem Verfahren nicht ermittelt werden.

11.3.2 Beurteilung der Immissionsbelastung auf der Grundlage von TA-Luft-Messungen

Dieses am Geographischen Institut der Universität Hannover entwickelte Verfahren (HERGERT et al. 1993, HÜTTEMEYER 1994) ermöglicht die planungsrelevante Umsetzung vorhandener TA-Luft-Immissionsmessungen (Kap. 6.2). Es erlaubt eine Untergliederung der Wirkungsräume nach ihrer lufthygienischen Belastung durch eine Abschätzung der Immissionsbelastung in
- Baukörpern und verschiedenen Freiflächentypen und
- Straßenräumen.

Weitere Messungen sind nicht nötig. Die rasterorientierten TA-Luft-Stichprobenmessungen werden entsprechend der Messpunktlage Bereichen gleicher Oberflächenstruktur oder Straßenabschnitten mit ähnlicher Verkehrsbelastung zugeordnet und statistisch aufgearbeitet. Wie im vorherigen Kapitel bereits dargestellt, basiert dieses Verfahren auf den Zusammenhängen zwischen den Struktureinheiten und den dort herrschenden Austauschverhältnissen bzw. Emissionsstrukturen. Auf dieser Grundlage lassen sich die mittleren Immissionsbelastungen in den flächenhaften und linienhaften Struktureinheiten bestimmen.

Generell besitzt dieses Verfahren in allen städtischen Gebieten Niedersachsens Gültigkeit. Die Regressionsbeziehung für Straßenräume wurde in Hannover entwickelt und gibt dementsprechend die Immissionsverhältnisse in schwach reliefierten Räumen mit guten Austauschbedingungen wieder. Untersuchungen in stärker gegliederten Räumen zeigen jedoch, dass das Verfahren in modifizierter Form auch dort Gültigkeit besitzt (UVF 1993; HÜTTEMEYER 1994).

Ermittlung der Immissionsbelastung in verschiedenen Strukturtypen

Für jeden Messpunkt der TA-Luft-Untersuchung wird die Nutzungs- und Oberflächenstruktur gemäß Abb. 27 in seiner unmittelbaren Umgebung ermittelt. Vorsicht: Nach TA-Luft ist eine Abweichung vom eigentlichen Messplatz am Rastereckpunkt von max. 20 % zulässig. Um eine eindeutige Zuordnung der relevanten Oberflächenstruktur zu gewährleisten, ist es demnach erforderlich, den genauen Standplatzes des Messfahrzeugs beim Auftraggeber oder Ausführungsbeauftragten der Untersuchung zu erfragen und den Standort entsprechend zu klassifizieren. Dies erfordert u. U. eine Auswertung der Messprotokolle.

Tab. 15: Einstufung der typischen lufthygienischen Verhältnisse in klima- und immissionsökologischen Struktureinheiten

Klima- und immissionsökologisch wirksame Struktureinheiten	Immissionsökologisch relevante Straßentypen	Einstufung der typischen lufthygienischen Verhältnisse
Zentrum, Stadtteilzentrum, Industrie-/ Gewerbefläche, Blockbebauung, sonstige Verkehrsfläche	Autobahn und autobahnähnliche Straße, übergeordnete Straße und Hauptstraße	belastet
Ortskern, Blockrandbebauung, Gemeinbedarfsfläche	größere Wohn- und Erschließungsstraße	mäßig belastet
Einzelhaus-, Zeilen- und Hochhausbebauung, Ruderal-, Park- und Gartenfläche	kleinere Wohn- und Erschließungsstraße	gering belastet
Ackerfläche, Wiese / Weide, Waldfläche		Grundbelastung

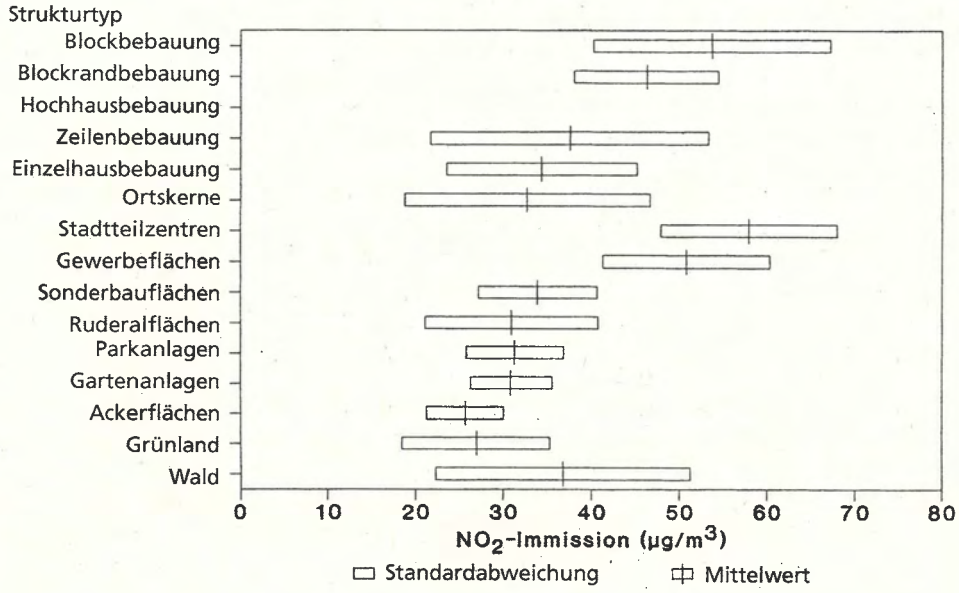


Abb. 27: NO_2-Immissionen in Abhängigkeit von der urbanen Oberflächenstruktur am Beispiel Hannover. Aus: HERGERT et al. (1993).
Anmerkung: Die hohe Immissionsbelastung der Waldstandorte resultiert aus den spezifischen Gegebenheiten Hannovers. Die Messpunkte, die diesem Strukturtyp zugeordnet worden sind, liegen in einem stark durch vielbefahrene Straßen beeinflussten Stadtwald (Eilenriede).

Wie eine statistische Auswertung für Hannover zeigt, lassen sich den einzelnen Nutzungen charakteristische Immissionsmengen zuordnen (Abb. 27). Eine prinzipiell gleiche, an Oberflächenstrukturen gekoppelte Differenzierung der Immissionskonzentration ist auch für andere niedersächsische Städte und ihr Umland anzunehmen, sofern nicht erhebliche örtliche Emittenten aus dem Bereich Gewerbe / Industrie zu einer Verschiebung des Immissionsspektrums führen.

Ermittlung der Immissionsbelastung für Straßenräume
Neben den flächenhaften Strukturen können auch den linienhaften Emissionsquellen in Abhängigkeit von der KFZ-Menge charakteristische NO_2-Immissionen zugeordnet werden. Um diese Immissionsbelastung abzuschätzen, wird den Messpunkten, die direkt im Straßenraum oder sehr nahe an einer Straße liegen, die Verkehrsbelastung aus der Verkehrsmengenkarte zugeordnet. Der Abstand Messplatz / Straße sollte dabei nicht größer als 20 m sein, und zwischen Messplatz und Straße sollte sich kein Austauschhindernis befinden.

Auf der Basis von Verkehrsmenge, LKW-Anteil am Verkehrsaufkommen und Fahrmodus läßt sich die Stickstoffdioxidemission als Leitgröße für die durch den KFZ-Verkehr induzierte Belastung berechnen (Kap. 11.2.1) und den Messpunkten zuweisen. Die NO_2-Immissionen für die Straßenabschnitte können nun mit Hilfe einer linearen Regression über den Zusammenhang zwischen Emission und Immission berechnet werden. Für das Beispiel Hannover liegt der mit diesem Verfahren erreichbare Erklärungsanteil der NO_2-Immissionen bei 77% (vgl. HERGERT et al. 1993).

Abschätzung der gesamten Immissionsbelastung im Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge
Die flächendeckende Darstellung der Immissionsbelastung im Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge eines Plangebietes ergibt sich aus der Zusammenschau
- der mittleren NO_2-Immission in den verschiedenen Bebauungs- und Nutzungsstrukturen und
- der berechneten NO_2-Immission in den Straßenräumen.

Um die immissionsökologische Belastung wirkungsbezogen zu gewichten, wird ein Jahresmittelwert von 50 µg/m³ als Mindeststandard für die Nutzung Wohnsiedlung, Freizeit / Erholung (siedlungsnah) angesetzt (KÜHLING 1986). Dieser Wert dient der Vorsorge vor langfristigen Einwirkungen und basiert auf epidemiologischen Untersuchungen. Daraus ergibt sich exemplarisch das in Tab. 16 zusammengefasste Bewertungsschema für die lufthygienische Situation in den unterschiedlichen Baukörper- bzw. Oberflächentypen und Straßenräumen des Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüges in einem Stadtrandbereich.

Tab. 16: Einstufung der Immissionsbelastung in den Oberflächenstrukturen am Beispiel Hannover-Kronsberg. Aus: HERGERT et al. (1993).

Einstufung der Immissionsbelastung	berechnete NO_2-Immission (µg/m³)	Bebauungs- und Nutzungsstruktur	Verkehrsstraßentyp
belastet	> 50,0	Stadtteilzentren; Blockbebauung; Industrie- und Gewerbeflächen	Ausfallstraßen; Autobahnen
mäßig belastet	37,5 – 50,0	Blockrandbebauung	Sammelstraßen; Durchgangsstraßen
gering belastet	25,0 – < 37,5	Einzelhaus-, Zeilen- und Hochhausbebauung; Ortskerne; Sonderbauflächen; Ruderal-, Park- und Gartenflächen	Kleine Sammelstraßen
Grundbelastung	< 25,0	Ackerflächen; Grünland; Wald	—

12 Kaltluftproduktion bewachsener Flächen

Die hohe langwellige nächtliche Ausstrahlung während austauschschwacher, bewölkungsarmer Wetterlagen führt zu einer starken Abkühlung der bodennahen Luftschicht über bewachsenen Freiflächen. Diese Kaltluftproduktion ist von elementarer lokalklimatischer Bedeutung:

- Es entstehen Kalt-/Frischluftströmungen (Kap. 13), die lufthygienische und bioklimatische Belastungen vermindern.
- Es entstehen Kaltluftsammelgebiete und Stagnationsbereiche mit besonderen Klimabedingungen (Kap. 10.3).

Die Abschätzung der Kaltluftproduktion eignet sich, um Ausgleichsräume hinsichtlich ihrer potenziellen Ausgleichsleistung zu charakterisieren. Diese Funktion muss im LRP und auch bei der Aufstellung eines LP in den klimaökologischen Regionen Geest/Börde und Bergland betrachtet werden.

12.1 Einstufung der Kaltluftproduktivität nach den klimaökologisch wirksamen Struktureinheiten

Basierend auf verschiedenen Untersuchungen zum Kaltlufthaushalt (u. a. GEIGER 1961; KING 1973; WERNER 1979; GROSS 1987; KIESE 1988; MOSIMANN et al. 1992; HERGERT et al. 1993), lassen sich verschiedenen vegetationsgeprägten Freiflächen Abkühlungsintensitäten und Stufen für die relative (potenzielle) Kaltluftproduktivität zuordnen (Tab. 17). Diese Einstufung gibt eine vereinfachte Rangfolge der mittleren Kaltluftproduktivität wieder. Ortsspezifische Einflüsse werden dabei natürlich nicht berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist für eine erste vorläufige Einstufung und eine vergleichende Abschätzung der unterschiedlich strukturierten Freiflächen geeignet.

Die Beurteilung des Waldes bereitet Schwierigkeiten. Im Vergleich zu Wiesenstandorten entstehen in Wäldern beim nächtlichen Abkühlungsprozess zwar große, aber nur wenig abgekühlte Luftvolumen (vgl. KIESE 1988). Ungehinderte Kaltluftlieferung über die gesamte Nacht setzt zudem eine Hangneigung > 1° voraus, da sonst die Bestandsränder den Luftaustausch behindern und der Wald in seiner Kaltluft »ertrinkt«. Nur bei ausreichendem Gefälle ist also gewährleistet, dass die abgekühlten Luftmassen permanent aus dem Waldbestand heraus transportiert werden und damit eine hohe Kaltluftproduktion erreicht wird.

12.2 Quantitative Abschätzung der Kaltluftproduktivität von Freiflächen

Nach einer Reliefanalyse zur Abgrenzung von Kaltlufteinzugsgebieten (Kap. 7.2) lässt sich die Kaltluftproduktion auf der Grundlage räumlich gut auflösender Messwerte zur Lufttemperatur (Kap. 8.1) pro Flächen- und Zeiteinheit abschätzen. Dabei ergibt der für ebene Lagen berechnete Wert eine Mindestkaltluftproduktion. Im geneigten Gelände resultieren aus den hangabwärts gerichteten Transportprozessen 2- bis 3mal höhere Produktionsvolumina.

Methodisches Vorgehen

■ Beurteilung der relativen Kaltluftproduktivität der einzelnen Freiflächeneinheiten mit Hilfe des Indikators »mittlere Temperaturabweichung vom Gebietsmittel der Messfahrt« (Kap. 8.1). In die Analyse gehen zunächst nur Messwerte aus ebenen Geländeabschnitten ein (Hangneigung ≦ 1°). Daraus ergibt sich in der Regel die in Tab. 17 wiedergegebene Rangfolge der Kaltluftproduktivität unterschiedlich bewachsener Flächentypen.

Tab. 17: Kaltluftproduktivität verschiedener Freiflächentypen. Die Einstufung resultiert aus Literaturwerten und der Auswertung von Temperaturmessfahrten in den Räumen Braunschweig und Hannover (u. a. HERGERT et al. 1993).

Klimaökologisch wirksame Freiflächentypen		ungefähre potenzielle Abweichung vom Gebietsmittel (K)	Einstufung der mittleren relativen Kaltluftproduktivität *
Freie Landschaft	Wiesen, Weiden, Heideflächen, Magerrasen, Moore, Offenbodenbereiche	–2,0 oder mehr	hoch – sehr hoch
	Ackerflächen, Gartenbauflächen	–1,0 bis –2,5	mittel – sehr hoch
	Wald	–1,5 oder mehr	mittel – hoch
	Wasserflächen (inkl. Sümpfe / Röhrichte)	—	keine Kaltluftproduktion
Siedlungsbereich	Kleingärten	–1,0 oder mehr	mittel – hoch
	großflächige Parkanlagen und Friedhöfe	–1,0 bis –2,0	mittel – hoch
	Freizeitflächen (Sportplätze, Freibäder)	–0,5 bis –1,5	gering – mittel
	kleine Park- und Abstandsflächen	0 bis –1,0	gering
	Wasserflächen	—	keine Kaltluftproduktion

* Die jeweils höhere Einstufung der Kaltluftproduktivität ergibt sich, wenn
- große, zusammenhängende Freiflächen vorliegen und/oder
- das Prozessgeschehen für einen kontinuierlichen Abtransport der abgekühlten Luft sorgt.

Die niedrige Einstufung ist zu wählen, wenn
- die Freiflächen eine geringe Größe aufweisen und/oder
- sie in der direkten Nachbarschaft von wärmeemittierenden Strukturen liegen (Kap. 10.1).

Bei der Abschätzung der jeweiligen Abkühlungsintensität sind zusätzlich die Kaltluftsammelbedingungen zu berücksichtigen.

Tab. 18: Kaltluftproduktivität einzelner Freiflächentypen. Die Werte sind mit dem beschriebenen Schätzverfahren für Braunschweig (MOSIMANN et al. 1992b) und Hannover (HERGERT et al. 1993) ermittelt worden und können als Orientierungswerte für die klimaökologische Region »Geest« angesehen werden.

	Freiflächentyp	Berechnete Kaltluftproduktionsraten (m^3/m^2 h) Wertebereich	Mittel
Freie Landschaft	Wiese / Weide	15 – 32	21
	Wald	6 – 27	14
	Ackerfläche, Gartenbauflächen	6 – 19	12
Siedlungsbereich	Grünflächen insgesamt	5 – 12	8
	Kleingärten	—	12
	Parkanlagen	—	9
	kleine Park- und Abstandsflächen	—	4

■ Bestimmung der mittleren Kaltluftproduktionsrate: Als Eckwert kann eine Kaltluftproduktion von 12 m^3 pro m^2 und Stunde für einen Ackerstandort gelten (nach KING 1973). Dieser Eckwert ist in Niedersachsen auch für stark reliefiertes Gelände bestätigt (FRANKE 1985, HERGERT 1991). Für andere Freiflächentypen wird der Eckwert entsprechend der jeweiligen mittleren Temperaturabweichung (s. o.) modifiziert. Tab. 18 stellt exemplarisch die berechneten mittleren Kaltluftproduktionsraten für verschiedene Freiflächentypen zusammen. Es handelt sich dabei um Richtwerte, die für den Geestbereich charakteristisch sind. Es wird empfohlen, diese Produktionsraten über Messfahrten zum Temperaturfeld im jeweiligen Untersuchungsgebiet zu überprüfen und ggf. an die spezifischen Kaltluftentstehungsbedingungen anzupassen.

■ Bilanzierung der Kaltluftproduktion der einzelnen Einzugsgebiete: Für die verschiedenen Kaltlufteinzugsgebiete kann auf der Grundlage der Flächengröße und der spezifischen Kaltluftproduktivität die Kaltluftproduktion berechnet werden. Die Bilanzierung und Gewichtung über die Flächengröße der Freiflächentypen wird durch den Einsatz eines GIS rationalisiert.

■ Bewertung der Kaltluftproduktion der Kaltluftproduktionsraten in Zusammenhang mit mesoskaligen Luftaustauschprozessen (Kap. 13.1.1: höhere Kaltluftmassenströme). Die zu betrachtenden Einzugsgebiete sind größer (Ebene LRP). Lokale Bedeutung der Kaltluftproduktion besagt, dass die Kaltluft auch über kleinräumige, durch Nachbarschaftsbeziehungen entstehende Austauschprozesse aus Ausgleichsräumen in den angrenzenden Wirkungsraum gelangt (Ebene LP). In diesem Fall sind auch schon geringere Kaltluftmassenströme aus kleineren Einzugsgebieten klima- und immissionsökologisch wirksam.

■ Auch bei einer differenzierten Abschätzung der Kaltluftproduktion stehen nicht die absoluten Werte einzelner Einzugsgebiete, sondern die relativen Unterschiede zwischen den verschiedenen Kaltluftabflusssystemen im Vordergrund der Analyse.

Tab. 19: Bewertung der Kaltluftproduktivität einzelner Einzugsgebiete im regionalen und lokalen Maßstab. Aus: HERGERT et al. 1993 und UVF 1994.

Kaltluftproduktionsrate pro Gebiet (Mio. m^3/h)	Relative Bewertung der Kaltluftproduktivität im regionalen Maßstab	im lokalen Maßstab
≧ 20	hoch	sehr hoch
< 20 – ≧ 10	mittel	
< 10 – ≧ 7,5	gering	hoch
< 7,5 – > 5		mittel
≦ 5	sehr gering	gering

Vorteile:

■ Der Bewertungsansatz ist transparent. Die Kaltlufteinzugsgebiete werden nach ihrer Bedeutung geordnet.

■ Die Methode ist für eine GIS-gestützte Auswertung entwickelt worden, lässt sich aber auch auf analogem Weg gut einsetzen.

■ Das Verfahren kann auch prognostisch im Planungsprozess eingesetzt werden.

Nachteil:

■ Für gesicherte Beurteilungen werden Messergebnisse zum Lufttemperaturfeld als Eingangsdaten benötigt.

13 Erfassung der Luftaustauschprozesse

In den klimaökologischen Regionen Geest, Börden, Bergland sind zwei verschiedene lokale Strömungssysteme zu unterscheiden (vgl. auch Kap. 2.3.3):
- orographisch bedingte Hang- und Talabwinde (Kaltluftabfluss, vgl. Kap. 13.1) und
- thermisch induzierte Austauschströmungen (Flur- und Strukturwinde, vgl. Kap. 13.2).

Hangabwärts fließende Kaltluft tritt in reliefiertem Gelände mehr oder weniger ausgeprägt fast überall auf. Flurwindströmung werden dagegen erst von größeren städtischen Siedlungen in Gang gesetzt. Nachgewiesen wurde der Flurwind z. B. in Münster, das eine Fläche von 48,8 km² aufweist (STADT MÜNSTER 1992). Aber auch in Einbeck mit nur ca. 8 km² Fläche wurden in Ansätzen zentrisch auf die Innenstadt ausgerichtete Strömungen festgestellt (TRIOPS 1991). Allgemein treten mit Zunahme der Reliefenergie Tal- und Hangabwindsysteme immer mehr in den Vordergrund der Untersuchungen. Thermische Austauschströmungen nehmen demgegenüber an Bedeutung ab.

13.1 Ermittlung der Hang- und Talwindströmungen in den relevanten Ausgleichsräumen

13.1.1 Berechnung der Massenströme von Hang- und Talabwindsystemen

Der Massenstrom ist das aus einem Kaltlufteinzugsgebiet pro Zeiteinheit herausströmende Luftvolumen. Über die Massenströme läßt sich die klimaökologische Ausgleichswirkung von Kalt-/Frischluftströmungen quantitativ bestimmen.

Eine Erfassung dieser Strömungen durch Messungen oder die Berechnung über nummerische Strömungsmodelle, die alle hohe Anforderungen an die Eingangsdaten stellen (u. a. HLFU 1992), ist wegen des hohen Zeit- und Kostenaufwandes im Rahmen der Landschaftsplanung nicht zu rechtfertigen. Punktuelle Messungen eignen sich allenfalls zum örtlichen Nachweis eines Hang- oder Talabwindes und zur exemplarischen Ermittlung von Kenngrößen zu diesen Austauschsystemen (Kap. 8.2 und 8.3). Für die Kaltlufteinzugsgebiete der Ausgleichsräume eines Plangebietes sollte deshalb eine Abschätzung der Massenströme über empirisch gesicherte, leicht anwendbare Berechnungsverfahren erfolgen, deren Eingangsgrößen einfach zu erfassen sind.

■ Für kleine Hangeinzugsgebiete, wie sie im Geest- und Bördebereich hauptsächlich vorkommen, aber auch für einzelne Hänge im Bergvorland und Bergland, eignet sich das Berechnungsverfahren nach BRIGGS (1979 und 1981). Die Formel ist aus Kaltluftabflussversuchen in ähnlichen Landschaftsräumen abgeleitet und auch in Niedersachsen überprüft worden (FRANKE 1985).

■ Zur Ermittlung des Kaltluftabflusses in Taleinzugsgebieten hat sich die Formel von KING (1973) bewährt, die aus Kaltluftabflussexperimenten in Eifeltälern abgeleitet wurde. Ihre Gültigkeit erstreckt sich auf Reliefbedingungen (z. B. Hangneigung > 5°, Talsohlenneigung > 1,5°), die in Niedersachsen im Bergland und Bergvorland zu finden sind.

Hangeinzugsgebiete in der Geest und Börde

Die Berechnung der Massenströme erfolgt hier nach einem analytischen Ansatz von BRIGGS (1979 und 1981), verändert nach HAENEL (1988). Voraussetzungen sind:
- Hangeinzugsgebiete mit einer maximalen Fließstrecke zwischen ca. 400 m und 1.000 m bei einer mittleren Hangneigung von 5° oder maximal 5.500 m Fließstrecke bei mittleren Neigungen von 2,5°,
- vorwiegend Oberflächenstrukturen mit geringer Rauigkeit
- relativ konstantes Gefälle der Hänge und
- Verhältnis Hangbreite zu Hanglänge mindestens 1 : 2.

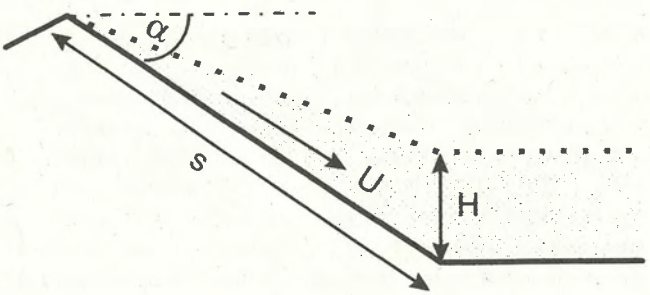


Abb. 28: Kaltluftabfluss am Hang. – Grafik: NLÖ, Dez. Naturschutzinformation, Schader.

Die **Mächtigkeit H** der abfließenden Kaltluft wird für den Übergang Hang – Ebene (oder Talsohle) nach folgender Formel berechnet. Dabei wird angenommen, dass die Kaltluftschicht während des Abflussereignisses linear anwächst. Die Werte für die Reliefparameter Hangneigung α und Hanglänge s (sie wird der Fließstrecke gleichgesetzt) lassen sich vorab leicht aus topographischen Karten ableiten.

$H = 0{,}0333 \times (\sin \alpha)^{2/3} \times s$ (m)

dabei ist
H = Schichtmächtigkeit der Kaltluft (m)
α = Hangneigungswinkel (°)
s = Hanglänge bzw. Fließstrecke (m)

Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit U der Kaltluft muss zunächst das **Auftriebsdefizit g`** ermittelt werden. Hierbei fließen die Gravitationsbeschleunigung g und das Temperaturdefizit im Kaltluftabfluss D ein. Für letzteres kann ein mittlerer, typischer Wert von D = 2 K angenommen werden (u. a. HAENEL 1988).

$g` = g \times D / \theta$ (m/s²)

dabei ist
g` = Auftriebsdefizit
g = Gravitationsbeschleunigung (9,81 m/s²)
D = Temperaturdefizit im Kaltluftabfluss (K)
θ = Potenzielle Temperatur bei synoptischem Grundzustand (273 K)

Die **Fließgeschwindigkeit U** lässt sich aus den Reliefparametern Hangneigungswinkel α, Fließstrecke s und dem Auftriebsdefizit g` bestimmen:

$U = 0{,}58 \times (\sin \alpha)^{2/3} \times (g` \times s)^{1/2}$ (m/s)

dabei ist
U = Horizontalgeschwindigkeit der Kaltluft (m/s)
α = Hangneigungswinkel (°)
g` = Auftriebsdefizit (m/s²)
s = Hanglänge (d. h. Fließstrecke) (m)

Abschließend kann aus den Parametern Kaltlufthöhe H, Kaltluftgeschwindigkeit U und Hangbreite b der **Massenstrom der Kalt-/ Frischluft M** des Einzugsgebietes im Übergang zum Wirkungsraum oder zur Ebene bestimmt werden:

$M = H \times U \times b$ (m³/s)

dabei ist

M = Massenstrom der Kalt-/ Frischluft (m³/s)
H = Schichtmächtigkeit der Kaltluft (m)
U = Horizontalgeschwindigkeit der Kaltluft (m²/s)
b = Hangbreite im Übergang zur Ebene (m)

Taleinzugsgebiete des Berglandes und Mittelgebirges

Der Kaltluftabfluss einzelner Taleinzugsgebiete kann mit einem empirischen Ansatz nach KING (1973) bestimmt werden. Dieses Verfahren besitzt vor allem im Bergland Gültigkeit. Voraussetzungen für die Anwendbarkeit sind:

- nach dem Wasserscheidenprinzip abgrenzbare Kaltlufteinzugsgebiete mit einer Tiefenlinie oder einem Tal,
- < 10 % Flächenanteil von abflussbehindernden Rauigkeitselementen wie Gehölze und Ortslagen,
- vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Weide- und Ackerflächen,
- Talsohlenneigung > 1,5° und
- Hangneigungen > 5°.

Die Berechnung des **Kaltluftabflusses A** in Tälern erfolgt nach folgender Formel:

$A = (400 \times \sin \alpha \times \sin \beta \times \sqrt{E})^{0,72}$ (m³/s)

dabei ist

A = Abflussmenge der Kaltluft über der Talsohle (m³/s)
α = Hangneigungswinkel (°)
β = Talsohlenneigungswinkel (°)
E = Einzugsgebietsgröße (m²)

Die Ergebnisse stellen einen Anhaltswert für den maximalen Kaltluftabfluss in einem Tal dar. Er bildet sich in diesem Umfang nur unter optimalen meteorologischen Rahmenbedingungen aus. Bei der Berechnung von Kaltluftmassenströmen in Tälern mit mehreren Einzugsgebieten sind die Abflüsse in den einzelnen Taleinzugsgebieten dieses Raumes zu ermitteln und für das Hauptabflusstal (= »Vorfluter«) zu addieren.

Die Einstufung der Wirksamkeit der Kaltluftmassenströme muss sich am konkreten Wertespektrum im Plangebiet orientieren. Dabei sollte vor allem auf LRP-Ebene zwischen regionaler und lokaler Wirksamkeit der Ausgleichsströmung unterschieden werden. Zur klima- und immissionsökologischen Wirksamkeit der Kaltluftabflüsse ist zusätzlich zu unterscheiden zwischen Frischluft (= lufthygienisch unbelastete Luft) und Kaltluft, die eine lufthygienische Vorbelastung aufweist (Kriterien siehe Kap. 13.3).

Eine Orientierungshilfe für die Bewertung der Kaltluftabflüsse in Tälern des Bergvorlandes und Berglandes gibt Tab. 20. Bei kleinräumigen Betrachtungen können auch weniger stark ausgeprägte Kaltluftabflüsse ab ca. 50 m³/sec. für den direkt zugeordneten Wirkungsraum eine Bedeutung über ihre klimatische und/oder lufthygienische Ausgleichsleistung haben. Eine regionale Wirksamkeit erlangen sie hier aber erst, wenn der Wert für den Kaltluftmassenstrom darauf hindeutet, dass größere Wirkungsräume (Stadtteile, ganze Ortslagen) durch den Talabwind mit Kalt-/Frischluft versorgt werden (angenommener Schwellenwert = 500 m³/sec).

Tab. 20: Einstufung der Wirksamkeit von Kaltluftabflüssen in Tälern des Frankfurter Umlandes. Aus: UVF (1994).

Kaltluftabfluss in Tälern (m³/s)	Wirksamkeit der Ausgleichsströmung regional	lokal
0 – 50	nicht wirksam	gering wirksam
> 50 – 100	sehr gering wirksam	wirksam
> 100 – 500	gering wirksam	hoch wirksam
> 500 – 2500	wirksam	sehr hoch wirksam
> 2500	hoch wirksam	

13.1.2 Berechnung von Kaltluftströmen mit komplexen Modellen

Für die Berechnung von Kaltluftströmen gibt es unterdessen eine ganze Reihe von analytischen und nummerischen Modellen, die aber für den Anwender entweder nicht zugänglich oder sehr teuer sind. Zudem stellen komplexe Modelle hohe Anforderungen an die Eingangsdaten und verlangen vertiefte Kenntnisse für eine korrekte Anwendung. In der Planungspraxis ist es daher in der Regel nicht sinnvoll, solche Modelle selbst einzusetzen, sondern allenfalls, die Berechnungsergebnisse bei spezialisierten Anbietern einzukaufen.

Der DWD setzt das Modell KLAM-96 ein. Dieses Modell berechnet u. a. für jeden Zeitschritt die Geschwindigkeit der Kaltluftflüsse und die Höhe der Kaltluft. Dargestellt werden auch die Volumenströme der Kaltluft durch eine vorgegebene Fläche. Der zeitliche Ablauf von Kaltluftflüssen kann auf dem PC im Zeitraffer visualisiert werden.

13.2 Bestimmung von potenziellen Liefergebieten für Flurwinde

Wenn vom Siedlungskörper zur grüngeprägten Freifläche ein Temperaturgradient von ≧ 2,0 K vorliegt, kann eine relevante thermisch angetriebene Ausgleichsströmung auftreten (FEZER 1976, v. STÜLPNAGEL 1987).

Thermisch induzierte Austauschsysteme lassen sich jedoch leider nicht über einfache Kenngrößen erfassen. Ein Nachweis dieser Strömungssysteme und eine Beurteilung ihrer Wirksamkeit ist nur über aufwendige physikalische (oder nummerische) Modelle (KUTTLER & ROMBERG 1992, KRDL 1993) oder über stationäre Messungen zum Windfeld (vgl. KIESE & OTTO 1986) möglich. Bei beiden Ansätzen ist der Aufwand für eine Bearbeitung im Rahmen der Landschaftsplanung zu groß.

Es besteht lediglich die Möglichkeit, festgestellten Wirkungsräumen potenzielle Liefergebiete für thermisch bedingte Ausgleichsströmungen zuzuordnen. Hierzu werden Daten zur Oberflächenstruktur problemorientiert ausgewertet. Liegen Messfahrten zum Lufttemperaturfeld vor, können diese dahingehend ausgewertet werden, ob zwischen Wirkungsräumen und Ausgleichsräumen Temperaturgradienten vorliegen, die die Ausbildung von thermischen Austauschsystemen wahrscheinlich erscheinen lassen (vgl. Kap. 10.1 und 13.1).

Ermittlung des Anteils der zur Überwärmung neigenden Flächen an der Siedlungsfläche (vgl. Kap. 10.1)
Mit Hilfe des Schemas in Abb. 15 prüfen, ob Mindestanteil erreicht wird. Liegen die Flächenanteile über den angegebenen Grenzwerten, kann sich zwischen den bebauten Flächen und angrenzenden Grün- und Freiflächen im Umland eventuell ein thermisch bedingtes Flurwindsystem entwickeln. Es sollten also die potenziellen Liefergebiete (Ausgleichsräume) für eine Flurwindströmung ausgewiesen werden.

Bestimmung der Distanz zu potenziellen Liefergebieten der Flurwindströmung

Vegetationsgeprägte Freiflächen in einem 2 km breiten Saum um den Siedlungskörper herum können als potenzielle Kaltluftliefergebiete (Kap. 12) angesprochen werden. Aus Abb. 30 leitet sich ab, welche Freiflächen die Bedingung als Liefergebiet bzw. Ausgleichsraum erfüllen.

Abgrenzung von Teil-Liefergebieten, die jeweils über bestimmte Leitbahnen mit einem Wirkungsraum verbunden sind
Die Abgrenzung sollte sich möglichst an Strukturmerkmalen orientieren (mögliche Grenzen: Dammbauten, Siedlungsbänder, Geländerippen usw.).

Abb. 29: Vorgehen bei der Ermittlung von Flurwindströmungen.

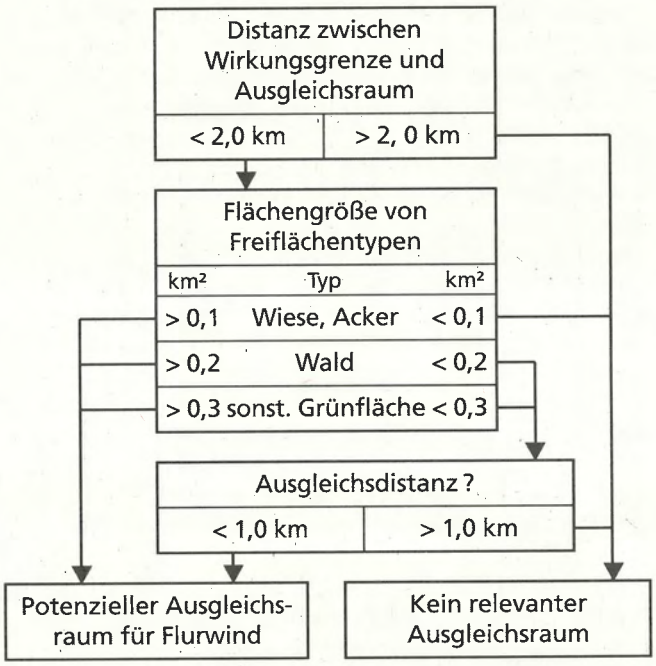


Abb. 30: Bestimmung von Liefergebieten für Flurwinde.

13.3 Ausweisung von Leitbahnen

Die Leitbahnen verbinden Wirkungs- und Ausgleichsräume miteinander. Um Flächen mit Leitbahnfunktionen in den LRP oder LP zu integrieren, muss ihr jeweiliges Ausgleichspotenzial erfasst und bewertet werden. Ein wichtiges Kriterium ist ihr Vermögen, möglichst große Luftmassen ungehindert zu transportieren (Rauigkeitsarmut der Leitbahn, keine querenden Hindernisse). Ebenso wichtig ist aber, zu klären, ob eine lufthygienische Belastung in der Leitbahn oder in ihrem Frischluftliefergebiet (KFZ-Verkehr ...) besteht. Es ist zu unterscheiden zwischen unbelasteten Frischluftleitbahnen und Kaltluftleitbahnen, die eine Vorbelastung aufweisen.

Kartiergrundlagen
Grundlagen für die Ausweisung der potenziellen Leitbahnen sind:
- topographische Karten und Luftbilder (optimaler Maßstab 1 : 5.000),
- das Ergebnis der Reliefanalyse (Kap. 7.2) und
- die Kartierung der klimaökologisch wirksamen Struktureinheiten (Kap. 7.1).

Abgrenzung der als Leitbahnen in Frage kommenden Strukturen
Potenzielle Leitbahnen sind:
- gehölzarme Tal- und Auenbereiche,
- gehölzarme sonstige Tiefenlinien (z. B. an Hängen ohne Bauten),
- breite Ausfallstraßen (nur Klimaausgleich),
- Bahnareale und
- größere zusammenhängende Grünflächen.

Prüfung der Mindestanforderungen
Die Leitbahnen für autochthone Strömungssysteme (und Ventilationsbahnen bei austauschreichen Wetterlagen) müssen folgenden Mindestanforderungen entsprechen (vgl. MAYER & MATZARAKIS 1992):
- lineare Ausrichtung auf den Wirkungsraum,
- generell eine geringe Oberflächenrauigkeit: $z_0 < 0{,}5$ m,
- Mindestbreite: 50 m (maßstabsgebundene Mindestbreite im LRP: 200 m), optimal > 300 m,
- keine Austauschhindernisse, die den Leitbahnquerschnitt abriegeln.

Diese Eigenschaften bestimmen, in welchem Umfang eine Leitbahnstruktur klimaökologische Ausgleichsleistung für die Wirkungsräume bringen kann. Bei gleichzeitiger Funktion als Kaltluftentstehungsgebiet wird die Effektivität der Leitbahn noch erhöht.

Unterscheidung Kaltluftleitbahn und Frischluftleitbahn
Ob eine Leitbahn Kalt- oder Frischluft transportiert, lässt sich grob abschätzen. Eine Vorbelastung der transportierten Luftmassen kann angenommen werden, wenn in der Leitbahn oder den zugehörigen Kaltlufteinzugsgebieten folgende Belastungen vorhanden sind:
- bedeutende Einzelemittenten (Industrie/Gewerbe oder auch Landwirtschaft; s. Kap. 11.3.2) und/oder
- stark befahrene Straßen (> 10.000 KFZ pro Tag).

Die Leitbahn liefert in diesem Fall nur noch Kaltluft in den Wirkungsraum. Sind Leitbahnen und zugehörige Ausgleichsräume dagegen frei von Emittenten, so können sie gesondert als Frischluftleitbahnen ausgegliedert werden.

13.4 Feststellung der Reichweite von Kalt-/Frischluftströmungen

Erst aus der Eindringtiefe von Kalt-/Frischluftströmungen in die Bebauung hinein ergibt sich der exakte Wirkungsbereich für eine ausgleichend wirkende Strömung. Daraus wiederum leitet sich die effektive Bedeutung von Ausgleichsräumen ab.

Eine Bestimmung von Reichweiten ist im LRP und LP relevant. Im LRP sollten nur die übergeordneten, bedeutenden Strömungssysteme berücksichtigt werden (Kap. 13.1.1: Massenströme > 100 m³/sec). Im LP sind dagegen die Reichweiten aller Ausgleichsströmungen interessant, außer den kleinräumigen, thermisch bedingten Ausgleichsströmungen innerhalb von Siedlungen.

13.4.1 Abschätzung der Reichweiten von Kaltluftabflüssen

Die quantitative Abschätzung mit einem Punktbewertungsverfahren (Tab. 21) dient der Ersteinschätzung des Ausgleichspotentials von Kaltluftabflüssen in Tälern bzw. Talsystemen. Diese eher grobe Methode ist vor allem für die Ebene LRP geeignet. Das Punktbewertungsverfahren kann aber auch eingeschränkt im Rahmen des LP eingesetzt werden. Wegen der großen Spannweiten für die Einstufung lässt sich das Verfahren zunächst auch nur im Bergvorland und Bergland anwenden. Eine Abschätzung im Geest- und Bördebereich verlangt Anpassungen beim Punktschlüssel (DUTTMANN et al. 1994).

Prinzip und Durchführung
Das Punktbewertungsverfahren schätzt im ersten Schritt die Kaltluftproduktion von Hängen und / oder Talsystemen sowie das Transportvermögen von Kaltluftleitbahnen ab, und ordnet diesen Größen entsprechende Bewertungszahlen zu. Im zweiten Schritt folgt die Addition dieser gewichteten Eingangsgrößen. Daraus leiten sich Aussagen über die Eindringtiefe der Kaltluft in unterschiedlich strukturierte Wirkungsräume ab (Tab. 22).

Vorteile dieses Punktbewertungsverfahrens:
- Einfache Ermittlung der Eingangsparameter.
- Nachvollziehbares und durchschaubares Bewertungsschema.
- Keine Messungen und andere besondere Erhebungen notwendig.

Nachteile:
- Einstufungen sind zu grob (z. B. Hangneigung in 5 %-Klassen).
- Der Bewertungsschlüssel muss an die Reliefbedingungen in anderen Landschaftsräumen angepasst werden (modifizierter Bewertungsschlüssel für den Geest- und Bördebereich in DUTTMANN et al. 1994).
- Die Bewertungsklassen sind zu wenig abgesichert.

Tab. 21: Klassifizierung und Bewertung der Reichweite von Kaltluftabflüssen. Nach MARKS et al. (1989), verändert.

Einflussgröße	Ausprägung	Bewert.-zahl
Größe des Kaltluft-einzugsgebietes	1 – 5 km²	4
	5 – 10 km²	8
	10 – 15 km²	12
	15 – 20 km²	16
	20 – 25 km²	20
	> 25 km²	24
Anteil der Acker- und Wiesenflächen	25 %	3
	25 – 50 %	6
	50 – 75 %	9
	> 75 %	12
Mittlere Hangneigung	< 5°	1
	5 – 15°	6
	15 – 25°	8
	25 – 35°	7
	> 35°	6
Mittleres Hangquer-profil	konkav	4
	gestreckt	2
	konvex	0
Mittlere Hanglänge	< 50 m	0
	50 – 100 m	2
	100 – 150 m	4
	150 – 200 m	6
	200 – 250 m	8
	> 250 m	10
Rauigkeit der Talsohle	ausschließlich Wiese und Acker	10
	Wiese und Acker auf mind. 2/3 der Fläche, Baumgruppen oder einzelne Häuser	8
	Wiese und Acker dominierend, Wald oder lockere Bebauung auf max. 1/3 der Fläche	6
	Wald oder lockere Bebauung mit geringer Blockbebauung dominierend, Wiesen und Äcker vorhanden	4
	Lockere Bebauung mit geringer Blockbebauung auf mind. 2/3 der Fläche	2
	Fast vollständig bebaut	0
Bewertung insgesamt		Σ

Tab. 22: Beurteilung der Reichweite von Kaltluftabflüssen aus Tälern bzw. Talsystemen. Aus MARKS et al. (1989).

Bewertungszahl aus Tab. 21	Reichweite	Merkmal
≧ 50	Sehr groß	Dringt auch in dicht bebautes Gebiet auf mehr als 2 km ein.
44 – 49	Groß	Dringt auf mehrere hundert Meter auch in dicht bebautes Gebiet ein.
32 – 43	Mittel	Dringt auf mehrere hundert Meter in Gebiete mit aufgelockerter Bebauung ein.
26 – 31	Gering	Dringt randlich in Gebiete mit aufgelockerter Bebauung ein.
≦ 25	Sehr gering	Dringt nicht in bebautes Gebiet ein.

13.4.2 Quantitative Ermittlung der Reichweiten von Kaltluftströmungen

Die Verteilung der Lufttemperaturen im Wirkungsraum ist ein guter Indikator für die Eindringtiefe von Kaltluft in bebaute Bereiche. Aus Temperaturmessfahrten lässt sich ein flächendeckendes Lufttemperaturfeld für den Wirkungsraum erstellen. Existieren Bereiche mit geringerer Temperatur als es für die jeweilige Struktur charakteristisch ist, kann das als Hinweis auf den Einfluss von einströmender Kaltluft gewertet werden. Auf diesem Weg lässt sich die Reichweite der Kaltluft/Frischluft in die Bebauung hinein gut lokalisieren.

Da die räumliche Variation der Temperatur natürlich auch von Faktoren wie Freiflächen, Gebäudehöhe, Straßenbreite usw. bestimmt wird, kann im Einzelfall eine Überprüfung der aus dem Temperaturfeld abgeleiteten Ergebnisse durch Tracerexperimente (Kap. 8.3: Rauchkörper, Driftballone) sinnvoll sein. Besonders Rauchtracer ermöglichen räumlich fein aufgelöste Ergebnisse.

Vorgehen

- Durchführung von Temperaturmessfahrten in Bereichen, in denen orographisch und/oder thermisch bedingte Kalt-/Frischluftströmungen auftreten können (Kap. 13.1 und 13.2). Dabei sind die Temperaturgradienten auf Transekten zwischen Ausgleichs- und Wirkungsraum zu ermitteln. Die Transekte sollten sich am Verlauf von potenziellen Luftleitbahnen (Eintrittsmöglichkeiten der Kaltluft in die Bebauung) orientieren.
- Als Reichweite wird die Strecke von der Grenze Ausgleichs-/Wirkungsraum bis zu einem Punkt in der Bebauung definiert, an dem sich das mittlere strukturtypische Temperaturfeld einstellt, d. h. der horizontale Temperaturgradient stark abflacht (Abb. 31).

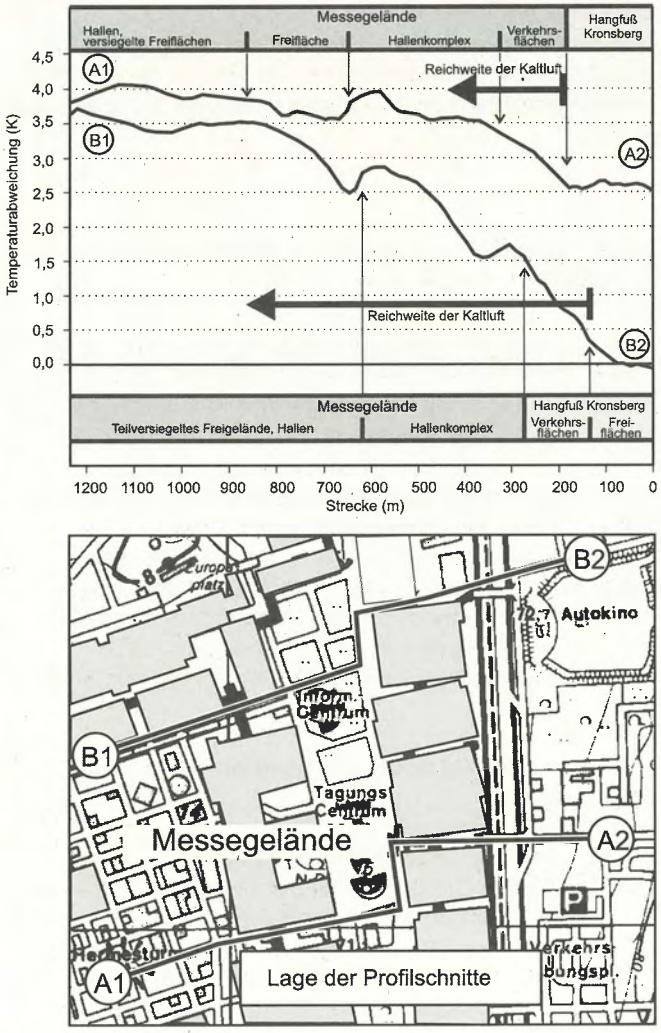


Abb. 31: Aus dem Temperaturfeld abgeleitete Reichweite der Kaltluftströmung in die Bebauung hinein, am Beispiel des Übergangs Kronsberg / Messegelände in Hannover. – Aus: GROSS et al. (1996).

13.5 Abschätzung der Hinderniswirkung von Austauschbarrieren

Austauschbarrieren behindern bodennahe Luftaustauschprozesse. Sie verringern die klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung von Kalt-/Frischluftströmungen, weil zumindest die Eindringtiefe in die Wirkungsräume abnimmt. Im Extremfall unterbrechen sie Austauschsysteme. Bei vollständigem Kaltluftstau kann es bei hinreichend starken Kaltluftströmungen u. U. zum Überfließen der Hindernisse kommen. Das Ausmaß der Beeinträchtigung der Ausgleichsleistung hängt ab von

- der räumlichen Ausprägung des Hindernisses (Hindernishöhe und -breite im Verhältnis zum Leitbahnquerschnitt),
- dem Leitbahnquerschnitt und
- dem Massenstrom (Kap. 13.1.1).

Die Planung hat zum Ziel, die Austauschbedingungen zu optimieren, d.h. die Durchlässigkeit von Barrieren zu erhöhen oder die Hinderniswirkung weitgehend aufzuheben. Da oft bei den kleinräumigen Bebauungsstrukturen angesetzt werden muss, sind Austauschbarrieren vor allem Gegenstand der klimaökologischen Beurteilung der Ebene LP. In den LRP können nur die größten, wirksamsten Hindernisse aufgenommen werden (insbesondere größere Bahn- und Straßendämme sowie große, freistehende Industrie- und Gewerbebauten).

Kartiergrundlage

- Karte der klima- und immissionsökologisch wirksamen Struktureinheiten (Kap. 7.1).
- Zusätzlich: ausgewählte Inhalte zu den Gehölzstrukturen aus der Biotoptypenkarte.
- Topographische Karten und Luftbilder (möglichst Maßstab 1 : 5.000).

Kriterien für die zu erfassenden Barrieren

Bei den zu kartierenden Hindernissen handelt es sich in der Regel um Verkehrsbauten, Gehölzstrukturen und Siedlungsränder. Bei den flächenhaften Strukturen wie Siedlungskörper und Gehölzflächen werden nur die Eigenschaften der Randbereiche berücksichtigt, da diese hauptsächlich für die Behinderung des Eindringens der Kalt-/Frischluft verantwortlich sind. Die zu kartierenden Strukturen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Lage im Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge,
- Maßstabsgebundene Mindesthöhe: LP > 2,5 m, LRP > 4 m,
- Maßstabsgebundene Längserstreckung: LP > 50 m, LRP > 200 m,
- Bei orographisch bedingten Luftaustauschsystemen: Hindernisverlauf quer zur Abflussrichtung in den Tiefenlinien, höhenlinienparalleler Verlauf im Hangbereich,

– Bei thermisch bedingten Luftaustauschsystemen: Hindernisverlauf quer zur radialen Strömungsrichtung.

Ermittlung und Bewertung der Barrieren

Abbildung 33 zeigt ein Ablaufschema zur Ermittlung der Austauschbarrieren (ohne Gehölzflächen).

In einem ersten Schritt werden die verschiedenen Hindernistypen auf der Grundlage der topographischen Karten oder von Luftbildern aufgenommen. Zu kartieren sind:

– Alle Barrieren (Bahndämme, Straßendämme, Siedlungsränder und Grünstrukturen) im Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge mit Breite und mittlerer Höhe.
– Durchlässe in den Hindernissen. Bei Brücken- und Dammbauwerken ist die Höhe und Breite des Durchlasses zu erfassen. Hinweis: Über die Durchlässe kann auf die Gesamthöhe des Hindernisses geschlossen werden (s. u.). Bei Siedlungsrändern ist der prozentuale Anteil der nicht bebauten Bereiche abzuschätzen.

Im zweiten Schritt werden die Kartierergebnisse mit den Einstufungskriterien abgeglichen. Jede Barriere kann so einer Hinderniswirkungsklasse zugeordnet werden, die ihre klima- und immissionsökologische Wirksamkeit widerspiegelt. Als zusätzliches Kriterium wird hier die Hang- und Talneigung im betreffenden Einzugsgebiet angeführt. Wird ein Grenzwert von 6° Neigung überschritten, ist davon auszugehen, dass Barrieren schnell vom Hang- bzw. Talabwind überflossen werden und sich damit die Hinderniswirkung vermindert. Eine Rückstufung in eine niedrigere Hinderniswirkungsklasse drängt sich in diesem Fall auf.

Die kartierten Strukturmerkmale sind Grundlagen für die Bewertung der Barrierewirkung. Die drei Typen von Hindernissen sind verschiedenen Bewertungsschritten zu unterziehen:

■ Bei Dämmen im Zuge von Verkehrswegen gehen die Parameter Hindernislänge quer zur Abflussrichtung der Kaltluft und Hindernishöhe in die Bewertung ein. Außerdem sind Durchlässe in den Bauwerken zu berücksichtigen. (Hinweis: Möglichkeiten zur Abschätzung der Höhe von Dammbauten ergeben sich, wenn Durchfahrten vorhanden sind: Im Mittel erreichen diese eine Höhe von 4 m. Wenn man für die darüberliegende Fahrbahn eine Höhe von 2 m annimmt, kommt man insgesamt auf eine Mindesthöhe von 6 m für den Damm.)

■ Die Hinderniswirkung von Siedlungsrändern ist von der an die Freifläche angrenzenden Bebauungsstruktur abhängig (Abb. 32). Auch weitgehend geschlossene Siedlungsränder können das Eindringen von Kaltluft in die Siedlung nicht völlig unterbinden. Die höchste Klasse der Hinderniswirkung kommt deshalb für Siedlungsränder nicht in Frage. Als Grenzwert für die Einstufung in die mittlere und niedrige Hindernisklasse lässt sich ein Anteil von 50 % nicht bebauter Bereiche im randlich gelegenen Siedlungsstrukturtyp festlegen (Abb. 32).

■ Hindernisse aus Büschen und Bäumen lassen sich aufgrund ihrer in der Regel hohen Durchströmbarkeit generell in die niedrigste Stufe »geringe Hinderniswirkung« einordnen. Die Hinderniswirkung von Gehölzflächen wie z. B. Aufforstungen und breitere Gehölzbestände ist i. d. R. wie die der dichteren Siedlungsränder einzustufen.

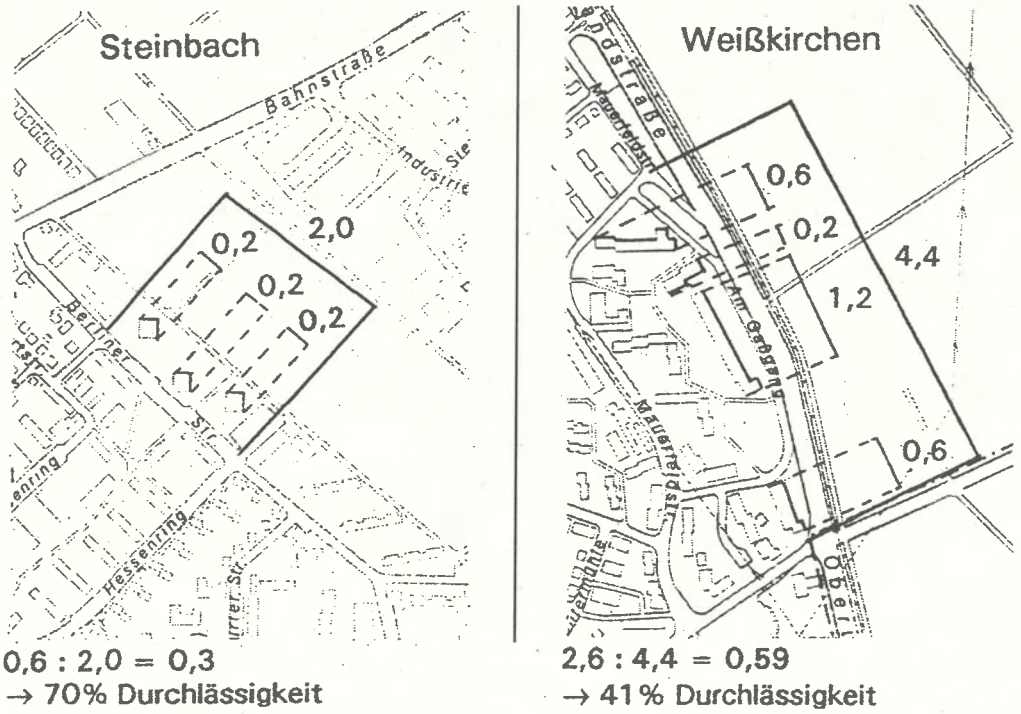


Abb. 32: Bestimmung der Durchlässigkeit von Siedlungsrändern. Die Beispiele zeigen die extremen Durchlässigkeitsunterschiede innerhalb des Siedlungsstrukturtyps »Hochhausbebauung« am Beispiel der Stadt Frankfurt (Kartengrundlage: Topographische Karte 1 : 10.000). Aus: PETERS (1994).

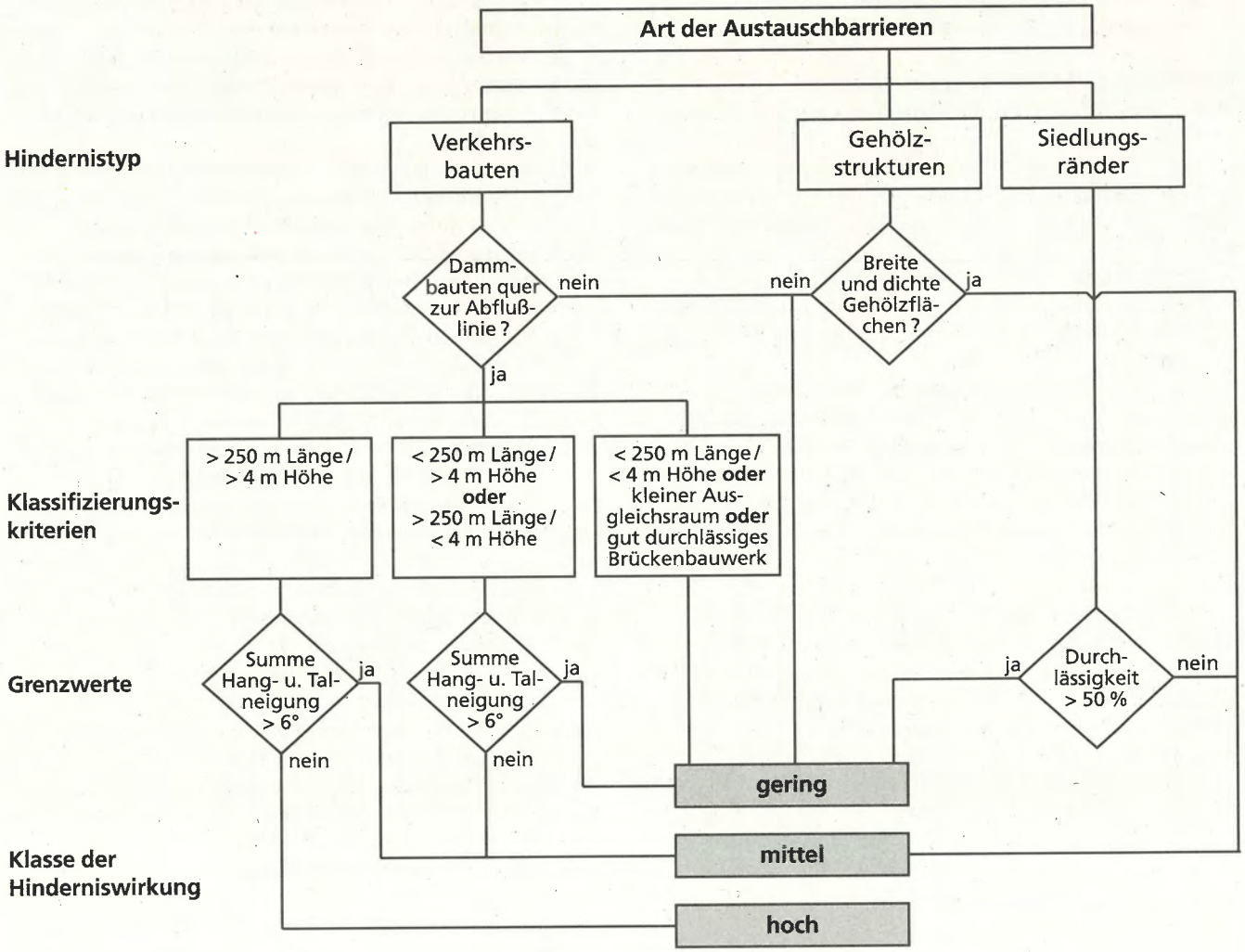


Abb. 33: Ermittlung und Bewertung von Austauschbarrieren

14 Ermittlung von Gehölzen mit Immissionsschutzfunktion

Wälder und Gehölzstreifen können durch ihre großen wirksamen Oberflächen Schadstoffe aus der Atmosphäre herausfiltern. Wirksame Prozesse sind dabei:
- trockene und nasse Deposition von Stäuben und Gasen an der Oberfläche von Pflanzen (LÖBEL 1988),
- Sedimentation von Schadstoffen durch die Verringerung der Windgeschwindigkeit in Beständen und/oder das Abschwemmen von herausgefilterten Stoffen durch Niederschläge (MALISSA et al. 1980).
- Aufnahme von Gasen durch die Pflanzen über den Gasaustausch (ELLENBERG et al. 1986).

Durch die Vegetation werden in erster Linie partikelgebundene Schadstoffe (Stäube) ausgekämmt und sedimentiert. Bei gasförmigen Luftverunreinigungen stehen die Auswaschvorgänge durch Niederschläge im Vordergrund.

Diese Filterwirkung von Vegetationsbeständen kann in allen Regionen Niedersachsens einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der lufthygienischen Situation in Wirkungsräumen und Bereichen für landschaftsbezogene Erholung leisten. Meist erfüllen schon relativ kleine Grünstrukturen entlang von Straßen (= linienhaften Emissionsquellen) diese Funktion (KVR 1991). Eine Bearbeitung ist deshalb vorrangig auf der Ebene LP angesiedelt. Erfüllen zusammenhängende Waldareale und ausgedehnte Gehölzstreifen durch ihre Lage zwischen Emittenten und potenziellen Wirkungsräumen Filterfunktionen (JONAS et al. 1985), sollten sie aber auch in den LRP aufgenommen werden.

Das Filtervermögen von Pflanzenbeständen ist im allgemeinen abhängig von
- der Dichte, Höhe und Größe der Grünstruktur,
- der Pflanzenart und ihrer Vitalität sowie
- dem Abstand zur Emissionsquelle.

Die Grundlage für die Ermittlung der filterwirksamen Pflanzenbestände bilden die ermittelten Emissions- und/oder Immissionsverhältnisse im Plangebiet (Kap. 11). Bestimmt werden die potenziell filterwirksamen Grünstrukturen mit Hilfe der Biotoptypen- und Realnutzungskartierung. Inwiefern Hecken, Strauch- und Gehölzreihen diese Funktion erfüllen, muss dann im Gelände wie folgt überprüft werden.

Kriterien für die Ausweisung filterwirksamer Gehölzstrukturen

Kriterien für die Ausweisung von Wäldern und Gehölzbeständen als örtliche direkte »Puffer« zwischen stark emittierenden Straßen und/oder Gewerbe-/Industriebetrieben und immissionsempfindlichen Nutzungen (Wohnen, Erholen, Biotope, Landwirtschaft) sind:
- Lage unmittelbar bei der bodennahen Emissionsquelle. Der Abstand zur Quelle sollte nicht größer als 10 m sein.
- Der Gehölzbestand sollte möglichst entlang des gesamten Überganges emittierender Bereich / immissionsempfindliche Nutzung vorhanden sein, mindestens aber 60 % der Kontaktstrecke einnehmen. Elemente mit einer Längserstreckung von mehr als 250 m sollten möglichst ausgewiesen werden.
- Die Breite des Pflanzenbestandes sollte mindestens 10 m und die Höhe ca. 5 m betragen.

Die Anforderung an das Grünvolumen ist abhängig von der Winddurchlässigkeit, d. h. Durchblasbarkeit, und kann grob aus Abb. 34 abgeleitet werden. Ein gestaffelter, stockwerkartiger Aufbau des Grünstreifens mit einer mittleren Winddurchlässigkeit weist die besten Filtereigenschaften auf (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN 1996).

Kriterien für die Ermittlung von Immissionsschutzwäldern im Bereich von Abluftfahnen bedeutender Einzelemittenten oder größerer Industriegebiete:
- Großräumige Lage zwischen dem Emittenten und einem zugehörigen Wirkungsraum. Die Zuordnung kann über die mittlere Windrichtungsverteilung im Plangebiet erfolgen. Relevant sind dabei die Sektoren mit dem Windrichtungsmaximum im Jahresmittel und während austauschschwacher Perioden (Kap. 10.4.1: Windstatistik).
- Eine besonders hohe Filterwirksamkeit besitzen Wälder im Hang- und Kammbereich des Berglandes.
- Die Waldbestände sollten mehr als 1 km² groß sein.

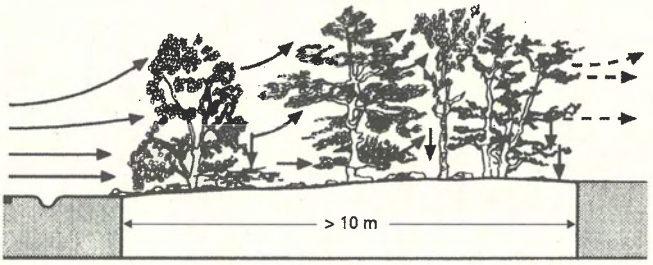


Abb. 34: Winddurchlässige Gehölzpflanzung aus Laub- und Nadelgehölzen. Immissionsreduktion generell um etwa 60 % möglich. Staubfilterung im Sommer und Winter durch Deposition sehr gut. – Aus: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (1996).

15 Kartographische Darstellung der Analyse des Schutzguts Klima/Luft

Eine gute kartographische Umsetzung ist das entscheidende Bindeglied zwischen der problemorientierten klima- und immissionsökologischen Analyse im Plangebiet und der Einarbeitung der klimatisch-lufthygienischen Belange in den Plan. Erst über die Karten erhalten die klima- und immissionsökologischen Aspekte ihre räumliche Relevanz. Die Karten trennen dabei Wichtiges von weniger Wichtigem. Sie zwingen zur Klassifizierung und zur Grenzziehung. Im folgenden wird die kartographische Umsetzung der klima- und immissionsökologischen Grundlagen zusammenfassend behandelt. Die Darstellung der klima- und immissionsökologischen Analyse und Synthese erfolgt nach der Generallegende in Abb. 35.

Klimafunktionskarte - Karte zur Darstellung klima- und immissionsökologischer Funktionszusammenhänge

Die wichtigste Ergebniskarte zur klimatisch-lufthygienischen Ist-Situation im Untersuchungsraum ist die Karte klima- und immissionsökologischer Funktionen (kurz: Klimafunktionskarte). Sie stellt Belastungszustände von Klima und Luft, Ausgleichsleistungen der Landschaft, räumliche Beziehungen zwischen Ausgleichs- und Wirkungsräumen sowie wichtige, der Verbesserung von Klima und Luft dienende Strömungen und sie beeinflussende Strukturelemente der Landschaft zusammenfassend dar. Die Klimafunktionskarte bildet den planungsrelevanten Ist-Zustand der Klimasituation und der allgemeinen Luftbelastung ab. Klimafunktionskarten enthalten im wesentlichen folgende Elemente:

- Ausgleichs- und Wirkungsräume allgemein,
- zwischen Ausgleichs- und Wirkungsraum vermittelnde Strukturen/ Flächen (vor allem Leitbahnen),
- Austauschbarrieren,
- nach Luftbelastung klassifizierte Wirkungsräume,
- nach Überwärmung klassifizierte Wirkungsräume,
- nach Luftbelastung klassifizierte Hauptstraßen,
- nach Produktivität klassifizierte Kalt-/ Frischlufteinzugsgebiete,
- thermisch und/oder orographisch bedingte Ausgleichsströmungen,
- übergeordnete, für den Austausch wichtige Winde und
- Kaltluftseen und Kaltluftsammelgebiete.

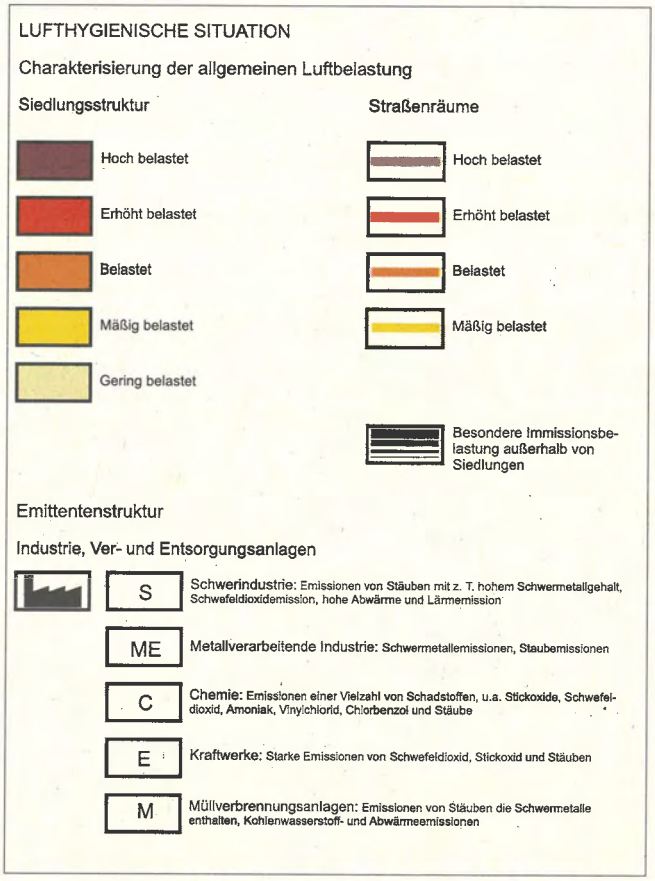
Der Gesamtumfang der Inhalte und der Detaillierungsgrad der einzelnen Informationen hängen von der lokalen Problemlage und der Bearbeitungstiefe ab. Entscheidend ist, dass

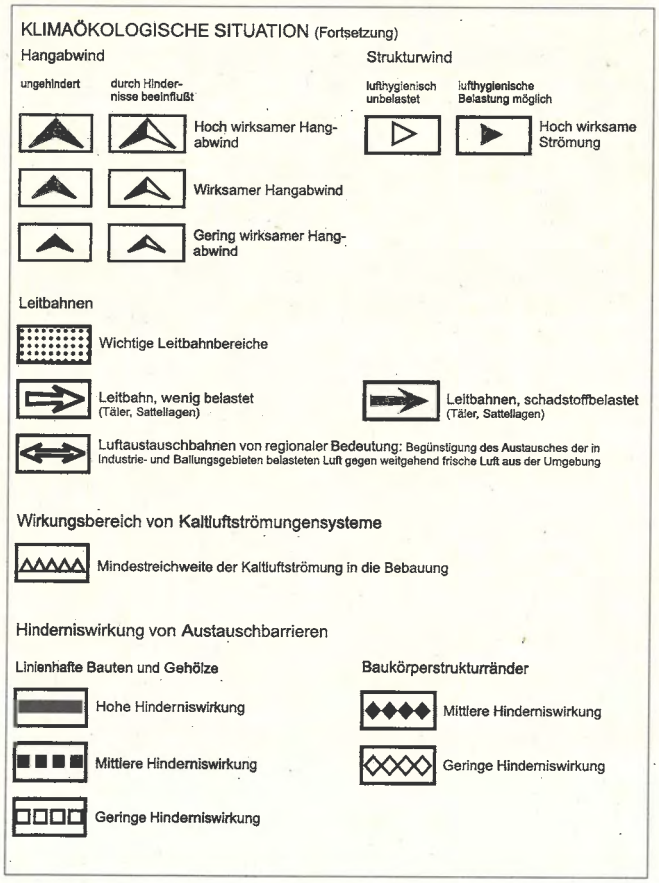
- Ausgleichs-/ Wirkungsraum-Beziehungen sichtbar werden,
- Wirkungszusammenhänge darstellerisch dominieren,
- Belastungen klassifiziert werden und
- nur (planerisch) wesentliche Funktionsbeziehungen dargestellt sind.

Klimafunktionskarten lassen sich in Maßstäben von 1 : 5.000 bis etwa 1 : 50.000 erstellen. Die prinzipiellen Inhalte ändern sich dabei nicht.

Klimafunktionskarten stellen Zusammenhänge zwischen Nutzung, Landschaftsstruktur und daraus resultierenden Luftaustauschprozessen dar. Sie zeigen, welche Flächen von Landschaftsveränderungen in Ausgleichsräumen klimatisch und lufthygienisch betroffen sein können. Aus Klimafunktionskarten lässt sich direkt ableiten, welche Flächen zur Aufrechterhaltung klimaökologischer Ausgleichsleistungen freigehalten werden müssen. Weil die Ausgleichsleistungen klassifizierbar sind, lassen sich auch planerische Prioritäten ermitteln. Da die Funktionen grundsätzlich wirkungsraumorientiert dargestellt sind, ist der Nutzen von landschaftsplanerischen Maßnahmen, die aus Klimafunktionskarten abgeleitet werden, nachvollziehbar. Die Klimafunktionskarte stellt damit die Grundlage für die Ausweisung der klima- und immissionsökologisch wichtigen Elemente dar (Kap. 3).

Die Abbildungen 36 bis 38 zeigen Beispiele für Klimafunktionskarten. Die Darstellungen entsprechen z. T. nicht der neu entwickelten Generallegende.





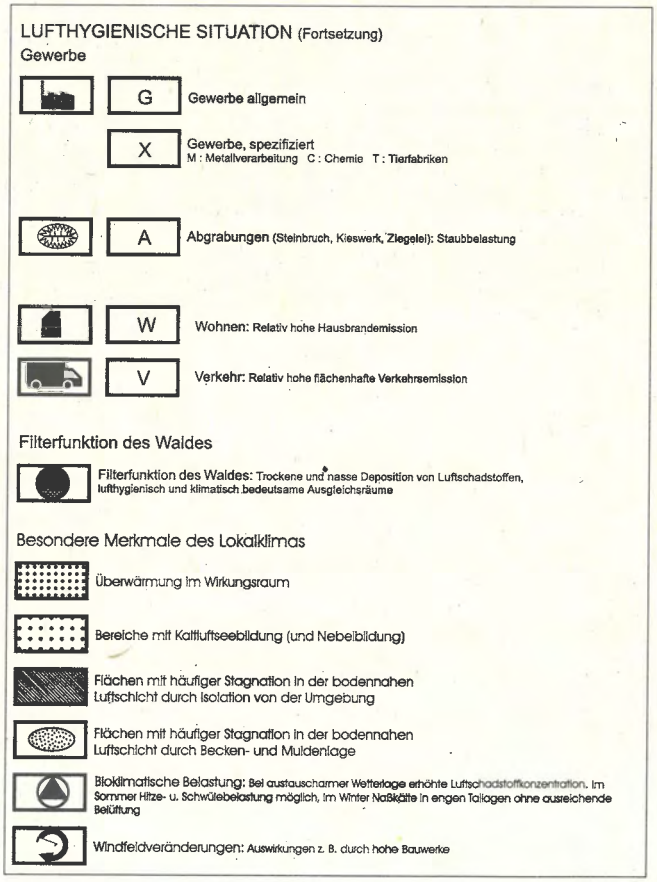
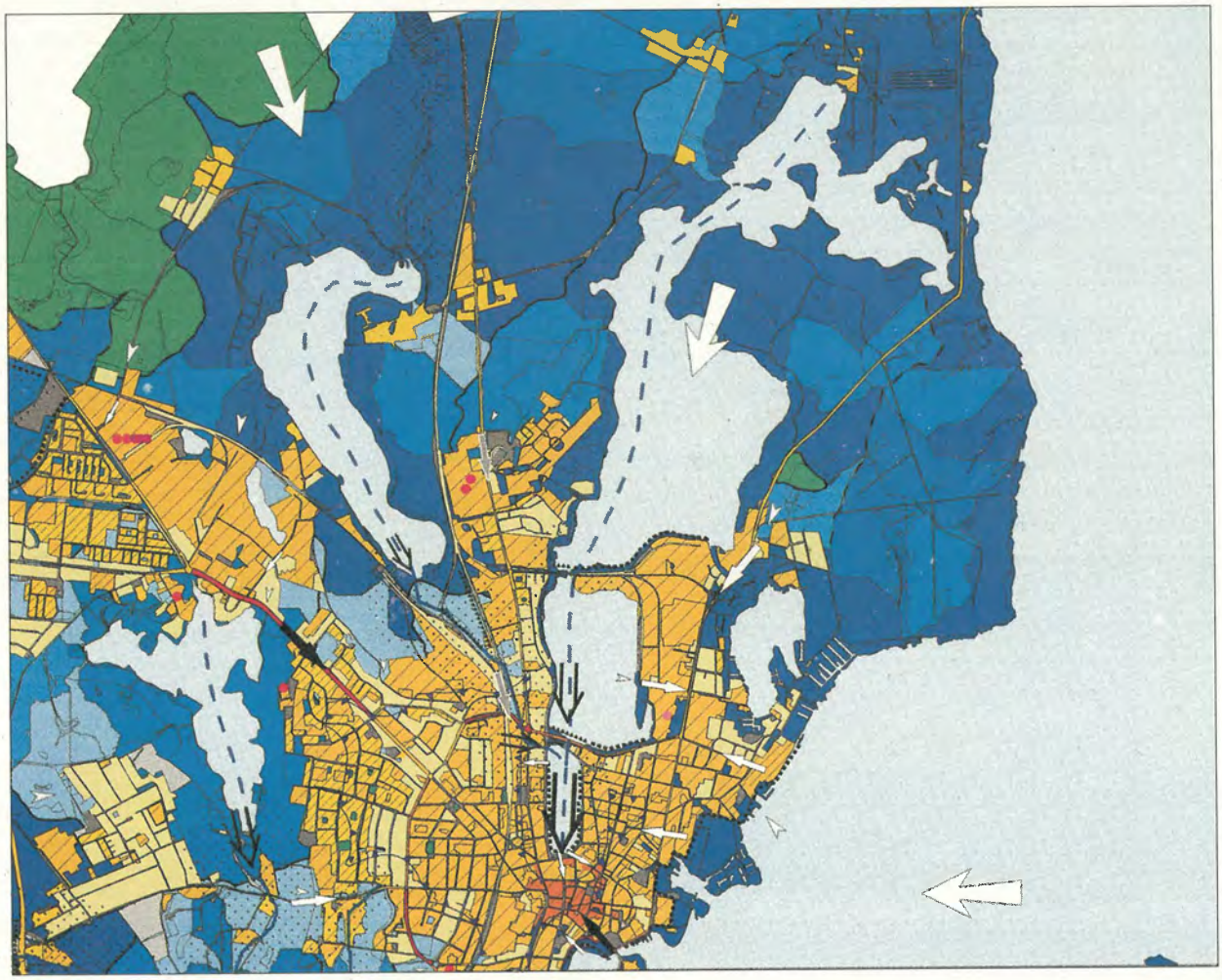


Abb. 35: Generallegende zur kartographischen Umsetzung der klima- und immissionsökologischen Zustände und Prozesse in Form einer Klimafunktionskarte.

Digitale Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen der Landeshauptstadt Schwerin

Komplexinformationsebene Klima- und immissionsökologische Funktion



Legende:

Lufthygienische Situation
Belastung der Siedlungs- und Straßenräume (Indikator CO)

- gering
- mäßig
- mittel
- erhöht
- hoch
- ohne (Verkehrts-) Zusatzbelastung
- Baustelle

Genehmigungsbedürftige Anlagen

- Wärmeerzeugung / Energie
- Stahl, Eisen, einschl. Verarbeitung
- Nahrungs- und Genußmittel
- Lagerung, Be- u. Entladung von Stoffen

Klimaökologische Situation
Kaltluftproduktion in den Ausgleichsräumen

- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch
- sonstige Kaltluft produzierende Flächen (Ergänzungsräume)

Abgrenzung der Einzugsgebiete

- Haupteinzugsgebietsgrenze
- Subeinzugsgebietsgrenze
- Teileinzugsgebietsgrenze

Luftaustausch
Durchlüftung der Siedlungsbereiche

- sehr gering
- gering

Leitbahnen für Luftaustausch

- Leitbahnbereich
- Leitbahn
- vermutete Leitbahn (See)
- wichtige Ventilationsbahn

Thermisch bedingter Luftaustausch

- gering wirksam
- wirksam

Reliefbedingter Luftaustausch

- gering wirksam
- wirksam
- hoch wirksam

Eintrittsbereiche von Kalt-/Frischluft in die Bebauung

unbelastet	belastet	
		geringe Reichweite
		mittlere Reichweite
		hohe Reichweite
		vermuteter Eintrittsbereich
		Eindringtiefe Innenstadt

Austauschhindernisse

- Verkehrsbauwerk
- Siedlungsrand

Abb. 36: Klimafunktionskarte der Landeshauptstadt Schwerin (Ausschnitt; Original-Maßstab 1 : 20.000). Aus: MOSIMANN et al. 1996.

KLIMATISCHE SITUATION IM WIRKUNGSRAUM

Thermische Belastung	

LUFTHYGIENISCHE SITUATION IM WIRKUNGSRAUM

	NO_2-Immission ($\mu g/m^3$)
Lufthygienisch belastet	> 50,0
Lufthygienisch mäßig belastet	37,5 - 50,0
Lufthygienisch gering belastet	< 37,5

KLIMATISCHE SITUATION IM AUSGLEICHSRAUM

KALTLUFTPRODUKTIVITÄT DER FREIFLÄCHEN

	Produktivität (Mio. m^3/h)
Sehr hohe Kaltluftproduktion	≥ 10,0
Hohe Kaltluftproduktion	≥ 7,5 - < 10,0
Mittlere Kaltluftproduktion	> 5,0 - < 7,5
Geringe Kaltluftproduktion	≤ 5,0
Sonstige kaltluftproduzierende Flächen	
Wasserflächen	

KALTLUFTABFLUSS IM EINZUGSGEBIET

	Abflußwert pro Abflußbahn (m^3/s)
Hauptabfluß	≥ 3,0
Nebenabfluß	> 1,5 - < 3,0
Wenig bedeutender Abfluß	≤ 1,5
Grenze des Kaltlufteinzugsgebietes	
Teildurchlässige Austauschbarriere	
Undurchlässige Austauschbarriere	
Kaltlufteintritt in die Bebauung	
Reichweite der Kaltluft	
Kaltluftsammlung/-stau	

LUFTHYGIENISCHE SITUATION IM AUSGLEICHSRAUM

LUFTHYGIENISCHE SITUATION IN DER ABFLUSSBAHN

	Emissionsklasse	NO_2-Emission pro Abfluß-bahn (kg/h)
1	1	≥ 5,0
2	2	> 2,5 - < 5,0
3	3	≤ 2,5

Abb. 37: Klimafunktionskarte für den Bereich des Kronsberges, Hannover (Originalmaßstab 1 : 10.000). Aus: HERGERT et al. (1993).

KLIMATOPE

Gewässer-Klimatop: thermisch ausgleichend, hohe Feuchtigkeit, windoffen.

Freiland-Klimatop: ungestörter stark ausgeprägter Tagesgang von Temperatur und Feuchte, windoffen, starke Frisch-/Kaltluftproduktion.

Wald-Klimatop: stark gedämpfter Tagesgang von Temperatur und Feuchte, Frisch-/Kaltluftproduktion, Filterfunktion.

Grünanlagen-Klimatop: ausgeprägter Tagesgang der Temperatur und Feuchte, klimatische Ausgleichsfläche in der Bebauung.

Gartenstadt-Klimatop: geringer Einfluß auf Temperatur, Feuchte und Wind.

Stadtrand-Klimatop: wesentliche Beeinflussung von Temperatur, Feuchte und Wind; Störung lokaler Windsysteme.

Stadt-Klimatop: starke Veränderung aller Klimaelemente gegenüber dem Freiland, Ausbildung einer Wärmeinsel, Schadstoffbelastung der Luft.

Stadtkern-Klimatop: intensiver Wärmeinseleffekt, geringe Feuchte, starke Windfeldstörung, problematischer Luftaustausch, Schadstoffbelastung der Luft.

Gewerbe-Klimatop: starke Veränderung aller Klimaelemente, Ausbildung des Wärmeinseleffektes, teilweise hohe Schadstoffbelastung der Luft.

Industrie-Klimatop: intensiver Wärmeinseleffekt, z.T. starke Windfeldstörung, problematischer Luftaustausch, hohe Schadstoffbelastung der Luft (großräumig bedeutend).

Bahnanlagen-Klimatop: extremer Temperaturtagesgang, trocken, windoffen, Luftleitbahn.

KALTLUFTBEREICHE, BESONDERHEITEN DER RELIEFSTRUKTUR

Kaltlufteinzugsgebiete: nächtliche Kalt-/Frischluftproduktion auf Freiflächen.

Kaltluftsammelgebiete: Kaltluftsammlung in relativen Tieflagen, Kaltlufttransportbahnen.

Kaltluftstau: Kaltluftsee durch Gebäude, Dämme, Waldriegel.

Verengung im Talquerschnitt: Strömungshindernis.

LUFTAUSTAUSCH

Hangabwinde: flächenhafter Kaltluftabfluß

Berg-/Talwindsystem: intensiver Kaltluftstrom.

Luftleitbahn (unbelastet): Täler, Sattellagen.

Luftleitbahn (schadstoffbelastet): Emittenten in Tälern, Sattellagen.

LUFTBELASTUNG, IMMISSIONEN

starke Belastung

mittlere Belastung

geringe Belastung

keine Meßwerte

Smoggebiet

Smogsperrgebiet

BELASTUNG DURCH VERKEHRSEMISSIONEN

Straße mit extremer Verkehrsbelastung: extreme Luft-/Lärmbelästigung

Straße mit sehr hoher Verkehrsbelastung: sehr hohe Luft-/Lärmbelastung

Straße mit hoher Verkehrsbelastung: hohe Luft-/Lärmbelastung

PIKTOGRAMME

Wohnen: relativ hohe Hausbrandemissionen.

Verkehr: relativ hohe flächenhafte Verkehrsemissionen.

Gewerbe: relativ hohe Schadstoffemissionen.

Industrie: relativ hohe Schadstoffemission mit großräumig wirksamer Belastung.

Abgrabungen (Steinbruch, Kieswerk, Ziegelei): Staubbelastung.

Immissionsbelastung: hohe Belastung in bodeninversionsgefährdeten Gebieten

Boden-/Talnebel: häufig in bodeninversionsgefährdeten Gebieten und Tallagen.

Abgehobene Inversion: thermische Turbulenz, Wärmeinsel.

Windfeldveränderungen: Auswirkungen z.B. durch hohe Bauwerke, Halden.

Windrose: Windrichtungshäufigkeiten.

Luftbelastungswindrose: Luftbelastungsindex nach Windrichtung.

Abb. 38: Klimafunktionskarte vom Stadtgebiet Stuttgarts (Original-Maßstab 1 : 20.000) (NVS 1992, aus WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1998: 190f; Abdruck mit frdl. Genehmigung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg).

16 Literatur

AID - AUSWERTUNGS- und INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT und FORSTEN (1993a): Neuartige Waldschäden. - Merkblatt Nr. 1125, Bonn, 32 S.

AID - AUSWERTUNGS- UND INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT und FORSTEN (1993b): Erosionsschäden vermeiden. - Merkblatt Nr. 1108, Bonn, 32 S.

AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG und LANDESPLANUNG (Hrsg.) (1961): Deutscher Planungsatlas - Niedersachsen und Bremen. - Bd. 2, Hannover, 108 S.

ARBEITSGRUPPE "METHODIK DER BIOTOPKARTIERUNG IM BESIEDELTEN BEREICH" (1986): Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich. - Natur und Landschaft 61, H. 10: 371-389.

BANGERT, H. (1989): Klimaanalyse Göttingen. - Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Planungsamtes der Stadt Göttingen (1 Textband, 3 Abbildungsbände). Paderborn, 200 S.

BARLAG, A.-B. (1993): Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage. - Essener Ökologische Schriften Bd. 1, Essen, 185 S.

BAUMÜLLER, J. (1988): Emission, Umwandlung und Immission. - In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Berlin / Heidelberg: 151-274.

BECKRÖGE, W. (1988): Veränderung des Klimas im Stadtbereich und klimatische Phänomene. - In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung, Berlin / Heidelberg: 12-151.

BECKRÖGE, W. (1990): Dreidimensionaler Aufbau der städtischen Wärmeinsel - am Beispiel der Stadt Dortmund. Materialien zur Raumordnung, Schriftenreihe vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum, Bd. 16, 243 S.

BIERBAUM, J. (1994): Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Ausscheidung, Bewertung und kartographischen Darstellung wichtiger Emittenten im Rahmen klima- und immissionsökologischer Gutachten. - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 103 S. + Anh.

BIERHALS, E., H. KIEMSTEDT & S. PANTELEIT (1986): Gutachten zur Erarbeitung des Landschaftsplans in Nordrhein-Westfalen - entwickelt am Beispiel der "Dorstener Ebene" = MURL - Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein Westfalen (Hrsg.): Naturschutz und Landespflege in NRW. 185 S.

BÖHME, H. (1989): Klimafaktoren und Artenrückgang am Beispiel europäischer Eidechsen. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz der Bundesanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie 29: 195-202.

BRANDTNER, E. (1974): Die Bewertung geländeklimatischer Verhältnisse in Weinbaulagen. - DWD, Zentralamt, Abt. Agrarmeteorologie, Offenbach.

BRIGGS, G. A. (1979): Analytic modeling of drainage flows. - Draft document, Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory, NOAA (erhältlich bei: EPA, Environmental Sciences Research Laboratory, Research Tringle Park, NC 27722).

BRIGGS, G. A. (1981): Canopy effects on predicted drainage flow characteristics and comperisions with observations. - Preprints fifth sympos. on turbulence, diffusion and air pollution, Atlanta. Amer. Meteor. Soc.: 113-115.

BRÜNDL, W., H. MAYER & A. BAUMGARTNER (1986): Stadtklima Bayern. - Abschlußbericht zum Teilprogramm »Klimamessungen München«. Materialien, Schriftenreihe des Bayerischen Staatsmin. f. Landesentw. u. Umweltfr., H. 41, München, 346 S.

BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ (BImSchG, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen u. ä. Vorgänge) i.d.F.d. Bek. vom 14. Mai 1990, BGBl. Nr. 23 (1990), S. 880.

BUNDESNATURSCHUTZGESETZ (BNatSchG, Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege) i.d.F. d. Bek. v. 12. März 1987, BGBl. I S. 889, zul. geänd. d. 3. Ges. zur Änderung d. BNatSchG vom 28. Aug. 1998, BGBl. I S. 2481.

BUNDESUMWELTMINISTERIUM (1992): Umweltschutz in Deutschland. Bonn. - 232 S.

BURKERT, F. (1992): Urbane Ausbreitungsklimate - Entwicklung eines Systems zur großmaßstäbigen Charakterisierung des Luftaustauschpotentials von Stadtstrukturen, am Beispiel der Stadt Hannover. - Diss. der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 167 S.

DANZEISEN, H. H. (1983): Experimentelle Untersuchung bodennaher Lufttemperatur- und Feuchteverteilung in Stadtgebieten mit Hilfe eines Meßwagens. - Beiträge Landespflege Rheinland-Pfalz 9: 7-34.

DEGGAU, M. & W. RADERMACHER (1989): Systematik der Bodennutzungen. Konzeption und Stand der Entwicklung. - Schriftenreihe "Ausgewählte Arbeitsgrundlagen zur Bundesstatistik", Statistisches Bundesamt Wiesbaden, H. 6, 40 S.

DEPAUL, F. T. & C. M. SHEIH (1986): Measurements of wind velocities in a street canyon. - Atmospheric Environment, Vol. 20, Nr. 3: 455-459.

DER HESSISCHE MINISTER FÜR UMWELT, ENERGIE und BUNDESANGELEGENHEITEN (Hrsg.) (1991): Luftreinhalteplan Rhein-Main. - Wiesbaden, 450 S.

DER NIEDERSÄCHSISCHE UMWELTMINISTER (Hrsg.) (1982 - 1993): Verschiedene bilanzierte Emissionskataster der Landkreise und kreisfreien Städte. – Hannover.

DEUTSCHER BÄDERVERBAND e. V. (Hrsg.) (1991): Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen. - Bonn, 69 S.

DOSCH, F. (Bearb.) (1992): Klimaökologischer Begleitplan zum Flächennutzungsplan Mainz. Erläuterungsbericht. - Umweltamt Mainz, 153 S., Anlagenband 64 S.

DRACHENFELS, O. (Bearb.) (1994): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen - unter besonderer Berücksichtigung der nach § 28a und § 28b NNatG geschützten Biotope. - Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachs. A/4, Hannover, 192 S.

DUTTMANN, R., Th. MOSIMANN & V. WICKENKAMP (1994): Modellierung klimaökologischer Prozeßgrößen mit dem geoökologischen Informationssystem GOEKIS. - Geosynthesis, Veröffentl. d. Abt. Physische Geographie u. Landschaftsökologie am Geogr. Inst. d. Univers. Hannover, H. 6, 76 S.

DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1964): Klima-Atlas von Niedersachsen. Offenbach, Erläuterungen und Karten, 122 S.

DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1995): Stationsnetz des DWD in Niedersachsen und Bremen. - Schriftliche Mitteilung.

DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1996): Angaben zu austauscharmen Strahlungswetterlagen in Niedersachsen - praxisnahe Definition und Häufigkeitsspektrum. - Mündl. Mitteilung des Leiters des Wetteramtes Hannover-Langenhagen.

EG - Europäische Gemeinschaft (1980): Grenz- und Leitwerte der Luftqualität für Schwefeldioxid und Schwebstaub. Richtlinie des Rates vom 15.07.1980 (89/427/EWG), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 229/30.

EG - Europäische Gemeinschaft (1985): Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid. Richtlinie des Rates vom 07.03.1985 (85/203/EWG), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 87/1.

EG - Europäische Gemeinschaft (1996): Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Kontrolle und Beurteilung der Luftqualität. - Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 296/55 vom 21.11.1996.

EG - Europäische Gemeinschaft (1999): Richtlinie 99/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. - Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 163/41 vom 20.06.1999.

ELLENBERG, H. et al. (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Solling-Projekts. - Stuttgart, 507 S.

EMONDS, H. (1986): Klimatologische Beurteilungsgrundlagen zur Berücksichtigung der Luftreinhaltung bei der städtebaulichen Planung in Tallagen. Aachen, 235 S.

FANGER, P. O. (1972): Thermal comfort. Analysis and applications in environment engineering. - New York, 244 S.

FEZER, F. (1976): Wieweit verbessern Grünflächen das Siedlungsklima. - Ruperto Carola, Bd. 57: 77-79.

FEZER, F. (1981): Siedlungsklima - Kein Vorrecht für Millionenstädte. - Mannheimer Vorträge, Akademischer Winter 1980/1981, Mannheim.

FEZER, F. (1995): Das Klima der Städte. - Klett-Perthes, 199 S.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- und VERKEHRSWESEN (1996): Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS-92) - Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung. Geänderte Fassung 1996, Köln, 46 S.

FRANKE, J. (1985): Vergleichende Untersuchung von Hangabwindmodellen mit gemessenen Wind- und Temperaturprofilen. - Unveröffentl. Diplomarbeit am Inst. für Meteorologie und Klimatologie der Univers. Hannover, 89 S.

FRANKE, J. & G. TETZLAFF (1987): Zum Auftreten interner Schwerewellen im Kaltluftabfluß. - Meteorologische Rundschau 40, H. 4: 118-126.

FRITSCH, D. & R. BILL (1991): Grundlagen der Geoinformationssysteme. - Karlsruhe, 414 S.

GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. - Braunschweig, 346 S.

GERTH, W.-P. (1986): Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. - Berichte des DWD, Nr. 171, 69 S.

GERTH, W.-P. (1987): Anwendungsorientierte Erstellung großmaßstäbiger Klimaeignungskarten für die Regionalplanung. - Berichte des DWD, Nr. 173, 31 S.

GERTH, W.-P. & J. CHRISTOFFER (1994): Windkarten von Deutschland. - Meteorologische Zeitschrift, N. F. 3: 67-77.

GROSS, G. (1987): Thermische Windsysteme im Mittelgebirge. - Promet 7: 36-39.
GROSS, G., Th. FREY, Th. MOSIMANN, P. TRUTE & R. LESSING (1996): Die Untersuchung kleinräumiger Kaltluftabflüsse mittels empirischer Abschätzung und numerischer Simulation. - Meteorol. Zeitschrift, N. F: 5: 76-89.
HÄCKEL, H. (1990): Meteorologie. - Stuttgart, 382 S.
HAENEL, H. D. (1988): Zum Verhalten von Kaltluftabflüssen über einer hangfolgenden Ebene - numerische Simulation und analytische Ansätze. - Berichte des Inst. für Meteorologie und Klimatologie der Univers. Hannover 31, 176 S.
HANGARTNER, M. & J. KASTKA (1986): Grundlagen der Geruchsbewertung. - In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft: Geruchsstoffe. VDI-Berichte 561, Düsseldorf: 427-438.
HEBBELMANN, A. (1994): Bearbeitung des Klimas in der Landschaftsplanung. - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 138 S.
HEIDEMANN, D. & P. WIMBER (1982): Typisierung von Verkehrsstärkeganglinien durch cluster-analytische Verfahren. - Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), H. 26, Köln, 38 S.
HERGERT, Th. (1991): Klimatische und lufthygienische Situation am Kronsberg und die Beeinträchtigung der klimaökologischen Ausgleichswirkungen durch Bebauung. - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 190 S.
HERGERT, Th., Th. MOSIMANN & P. TRUTE (1993): Großmaßstäbige klima- und immissionsökologische Analyse und Prognose für die Bauleitplanung - Begutachtung der Kronsbergbebauung im Rahmen der Planungen für die Weltausstellung EXPO 2000. - Geosynthesis, Veröffentl. d. Abt. Physische Geographie u. Landschaftsökologie am Geogr. Inst. d. Univers. Hannover, H. 5, 52 S.
HERZIG, R., L. LIEBENDÖRFER, M. URECH & K. AMMANN (1987): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz - Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. - VDI-Berichte 609: 619-639.
HESS, P. & H. BREZOWSKY (1969): Katalog der Großwetterlagen Europas. - Berichte des DWD, Bd. 15, Nr. 113, Offenbach, 14 S. + Anh.
HLFU - HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (Hrsg.) (1992): Numerische Simulation der Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge im Bereich Kassel während einer Strahlungsnacht. –Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Schriftenreihe der HLfU, H. 141, Wiesbaden, 50 S.
HÖPPE, P. (1985): Anwendungsmöglichkeiten eines instationären Energiebilanzmodells zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit. - Ann. der Meteorologie 22: 17-18.
HORBERT, M., C. SCHÄPEL & A. v. STÜLPNAGEL (1988): Klimauntersuchungen in Goslar-Oker. - Unveröffentl. Gutachten des Fachgebietes Bioklimatologie der TU Berlin, 120 S.
HORBERT, M., C. SCHÄPEL & A. v. STÜLPNAGEL (1991): Klimauntersuchungen im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen in Goslar-Oker. - Naturschutz u. Landschaftsplan. 23, H. 1: 19-28.
HORST, K. (1964): Klima und Bodenfaktoren in Zwergstrauch- und Waldgesellschaften des Naturschutzparks Lüneburger Heide. - Naturschutz u. Landschaftspfl. Niedersachs. 2: 19-20.
HÜTTEMEYER, P. (1994): Empirisch-statistisches Modell zur Abschätzung siedlungsstruktur-abhängiger Schadstoffverteilungen mit einem GIS im Gebiet des Umlandverbandes Frankfurt (UVF). - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 134 S. + Anh.
IFEU (1995): Abschätzung zukünftiger Emissionsfaktoren für Motorfahrzeuge nach EU- und US-Abgasgesetzgebung. - Im Auftrag des BUWAL, Arbeitsunterlage Nr. 21
INFRAS (1995): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. - Im Auftrag des UBA (Umweltbundesamt) und BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschafts), Berlin und Bern, 57 S.
JENDRITZKY, G. (1984): Bioclimatic maps of heat stress of man. - In: W. Kirchhofer, A. Ohmura und H. Wanner (eds.): Applied Climatology. Züricher Geographische Schriften 14: 101-102.
JENDRITZKY, G. (1988): Bioklima. - In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung, Berlin / Heidelberg: 411-426.
JENDRITZKY, G. (1991): Räumliche Darstellung der thermischen Umgebungsbedingungen des Menschen in der Stadt. - Beiträge der regionalen und angewandten Klimatologie, Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie der Universität Freiburg, H. 32.
JENDRITZKY, G., G. MENZ, G. SCHMIDT-KESSEN & W. SCHIRMER (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. - Beiträge der Akad. f. Raumforsch. u. Landesplanung, Bd. 228, 80 S.
JENDRITZKY, G., W. SÖNNING & H. J. SWANTES (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Modell). - Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Bd. 28, Hannover, 85 S.
JONAS, R., M. HORBERT & W. PFLUG (1985): Die Filterwirkung von Wäldern gegenüber staubbelasteter Luft. - Forstw. Cbl. 104: 289-299.
KAMMERER, P. (1987): Computergestützte Reliefanalyse unter Verwendung des Digitalen Geländemodells. - Münch. Geogr. Abhdl., Bd. A 36, München, 91 S.
KAPS, E. (1955): Zur Frage der Durchlüftung von Tälern im Mittelgebirge. - In: Meteorologische Rundschau 8, H. 3/4: 61-65.
KAUFELD, L. (1979): Wetter und Klima der deutschen Küste. - In: F. Grube und G. Richter (Hrsg.): Die deutsche Küste. S. 170-181.
KERSCHGENS, M. (1988): Modellierungen. - In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung, Berlin / Heidelberg: 311-360.
KIEMSTEDT, H. (1989): Landschaftsplanung als Fachplanung. - Daten zur Raumforschung, Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): 50-57.
KIESE, O. (1972): Bestandsmeteorologische Untersuchung zur Bestimmung des Wärme-haushaltes eines Buchenbestandes. - Berichte des Inst. für Meteorologie und Klimatologie der Univers. Hannover Nr. 6, 132 S.
KIESE, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. - Landschaft + Stadt 20, H. 2: 67-71.
KIESE, O. und G. OTTO (1986): Windanalyse der Stadt Dortmund. - Unveröffentl. Endbericht für den KVR (Kommunalverband Ruhrgebiet) Essen, Münster, 63 S.
KING, E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltlufthaushaltes und der Frostgefährdung durch Straßenverkehr. - Berichte des DWD, Nr. 130, Bd. 17, Offenbach, 24 S.
KRDL - KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT IM VDI und DIN (Hrsg.) (1993): Lufthygiene und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. - Düsseldorf, 507 S.
KÜHLING, W. (1986): Planungsrichtwerte für die Luftqualität. - Materialien, Schriftenreihe des Institutes für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS) (Hrsg.), Bd. 4.045, Dortmund, 227 S.
KUTTLER, W. und R. ROMBERG (1992): On the occurence and effectiveness of country breezes by means of wind tunnel in situ-measurements. 9th world clean air congress, Montreal, Canada, S. JU-9.A.04: 1-12.
KVR - KOMMUNALVERBAND RUHRGEBIET (Hrsg.) (1991): Auswirkungen von Immissionsschutzpflanzungen - Beurteilung der Wirkung von Immissionsschutzpflanzungen am Kamener Kreuz. - Essen, 54 S.
KVR - KOMMUNALVERBAND RUHRGEBIET (Hrsg.) (1992): Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet. - Essen. 68 S.
LAHMANN, E. (1990): Luftverunreinigung - Luftreinhaltung. - Berlin und Hamburg. 201 S.
LANDESHAUPTSTADT HANNOVER (Hrsg.) (1981): Lage und Klima. - Hannover, 103 S.
LESER, H. (1984): Zum Ökologie-Ökosystem und Ökotopbegriff. - Natur und Landschaft 59: 351-357.
LESER, H. & H.-J. KLINK (Hrsg.) (1988): Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1 : 25 000. - Forsch. z. dt. Landeskunde, Bd. 228, 349 S.
LESER, H., B. STREIT, H.-D. HAAS, J. HUBER-FRÖHLI, Th. MOSIMANN & R. PAESLER (1993): Diercke-Wörterbuch Ökologie und Umwelt. - Bd. 1 und 2, München / Braunschweig, 241 S. und 233 S.
LETTAU, H. (1969): Note on aerodynamic roughness parameter on the basis of roughness element description. - J. Appl. Meteorol. 8: 828-832.
LIPPERT, R. (1992): Klimaökologische Wirkungs- und Ausgleichsfunktionen im Bereich ausgewählter Strukturtypen Hannover-Döhrens. - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 101 S. + Anh.
LÖBEL, J. (1988): Trockene und nasse Deposition. - In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung, Berlin / Heidelberg: 250-273.
LÖBEL, J. (1993): Einsatz von Windkanälen zur Modellierung der Strömung und Ausbreitung. - In: Kommission Reinhaltung der Luft in VDI und DIN (Hrsg.) (1993): Lufthygiene und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Düsseldorf: 424-427.
LUDES, G. & J. LÖBEL (1993): Einsatz von numerischen Modellen für die Stadt- und Raumplanung sowie von Immissionsprognosen. - In: Kommission Reinhaltung der Luft in VDI und DIN (Hrsg.) (1993): Lufthygiene und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Düsseldorf: 427-438.

MALISSA, H. et al. (1980): Zur chemischen Zusammensetzung von urbanen Niederschlägen. -Frisenius Z. Anal. Chem., Bd. 301: 279-286.
MARKS, R., M. J. MÜLLER, H. LESER & H.-J. KLINK (Hrsg.) (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). - Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 229, 222 S.
MATSON, M. (1978): Satellite detection of urban heat islands. - Monthly Weather Rev. 106, Washington: 1725-1734.
MAYER, H. (Hrsg.) (1986): Bioklima in der Stadt. - Münchner Universitäts-Schriften, Fakultät Physik, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 153, 128 S.
MAYER, H. & A. MATZARAKIS (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet. - Forschungsvorhaben Stadtluft, Abschlußbericht, Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München. 96 S.
MENZ, G. (1990): Mikroskalige bioklimatologische Geländeaufnahme mit Satellitendaten. - Beiträge der Akad. f. Raumforsch. u. Landesplanung 228: 70-79.
MORGEN, A. (1957): Die Besonnung und ihre Verminderung durch die Horizontbegrenzung. - Verh. Met. u. Hydr. D. DDR 12: 3-16.
MOSIMANN, Th., F. M. BURKERT, P. TRUTE & Th. HERGERT (1992a): Abschlußbericht des Teilprojektes "Stadtklima und Lufthygiene" des BMFT-Projekts Ökologisches Forschungsprogramm Hannover. - Stadt Hannover, Amt f. Umweltschutz, 216 S.
MOSIMANN, Th., Th. HERGERT & P. TRUTE (1992b): Analyse der klimaökologischen Funktionszusammenhänge in der Stadt Braunschweig mit Empfehlungen für die zukünftige Stadtentwicklung. - Gutachten für die Stadt Braunschweig, Stadtplanungsamt, 84 S.
MOSIMANN, Th., Th. HERGERT & P. TRUTE (1994): Quantitative Analyse der autochthonen Luftaustauschprozesse im Einflußbereich des Riedberges und Folgerungen für die Bebauung. - Gutachten für das Amt für kommunale Gesamtentwicklung und Stadtplanung der Stadt Frankfurt a. M., 27 S. + Photoanhang.
MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1995): Die Bereiche Klima und Luft im Umweltinformationssystem der Stadt Hannover. - In: Ber. Naturhist. Ges. Hannover 137: 15-43, Hannover.
MOSIMANN, Th., P. TRUTE, V. WICKENKAMP & Th. FREY (1996): Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen in der Landeshauptstadt Schwerin. Gutachten für das Umweltamt der Landeshauptstadt Schwerin, 70. S. + Anhang und Karten.
MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland - Zeitraum 1961 - 1990. - Selbstverlag des DWD, Offenbach, 431 S.
MURL - MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG und LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1987): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet-Mitte, 1. Fortschreibung 1987-1991. - Düsseldorf.
MURL - MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG und LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1990): Immissionsschutz in der Bauleitplanung - Erläuterungen zum Abstandserlaß NRW. - Düsseldorf, 121 S.
NAUMANN, M. (1986): Mobile Erfassung von Temperatur und Luftfeuchte in ausgewählten Bereichen von Mainz und Wiesbaden. - Mainzer Geograph. Studien 27: 30-86.
NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (1998): Kreisfreie Städte und Landkreise in Zahlen 1995/96.
NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STRASSENBAU (1997): Verkehrsmengenkarte Niedersachsen 1995. Hannover.
NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT (1989a): Hinweise der Fachbehörde für Naturschutz zur Aufstellung des Landschaftsrahmenplanes. - Inform.d. Naturschutz Niedersachsen 9, Nr. 2: 31-36, Hannover.
NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT (1989b): Hinweise der Fachbehörde für Naturschutz zur Aufstellung des Landschaftsplanes. – Inform.d. Naturschutz Niedersachs. 9, Nr. 4: 53-64, Hannover.
NIEDERSÄCHSISCHES NATURSCHUTZGESETZ (NNatG) i.d.F.v. 11. April 1994, Nds. GVBl. S. 155, 267, zul. geänd. d. Ges vom 11. Febr. 1998, Nds. GVBl. S. 86.
NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.) (1987): Bericht über die Smog-Episoden in Niedersachsen während des Zeitraumes Januar - März 1987. Sonderbericht.
NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.) (1992): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen - LÜN. Aufgabe, Aufbau und Datenbekanntgabe. - Hannover, 26 S.
NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.) (1993): Umweltbericht der Niedersächsischen Landesregierung 1992. - Hannover.
NILSSON, S. J. & P. GRENNFELT (Hrsg.) (1988): Critical loads for sulphur and nitrogen. -Report from a workshop held at Skokloster - Schweden. Nordic Council of Ministers, Kopenhagen, Dänemark.
NLÖ - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (1987 ff.): LÜN-Jahresberichte ab 1987. - Hannover.
NLÖ - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (1993): Depositions-Meßnetz Niedersachsen. - Hildesheim, 40 S.
NLÖ - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (Hrsg.) (1992): Untersuchung von Niederschlagswasser 1988 - 1990. - Berichte. Hildesheim, 95 S.
NLÖ - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (Hrsg.) (1997): Veröffentlichungen zum Thema Immissionsschutz und Arbeitsschutz. - Hannover, 13 S.
NLÖ – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (Hrsg.) (1998): 20 Jahre Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen – Datenkatalog zur Luftgüte in Niedersachsen 1978-1997. - Nachhaltiges Niedersachsen 7, Hildesheim, 500 S.
NLÖ - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (1999a): Übersicht der LÜN-Stationen. - Datenbank des Dezernats »Luftqualitätsüberwachungssystem«, Stand Sept. 1999.
NLÖ - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (1999): Übersicht der Messstellen des GÜN-Depositionsmessnetzes Niedersachsen. - Datenbank des Dezernats »Hydrologie des Grundwassers«, Stand Nov. 1999.
NÜBLER, W. (1979): Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg. - Freiburger Geogr. Hefte 16, 113 S.
NVS - NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART (Hrsg.) (1992): Klimaatlas. – Stuttgart.
OKE, T. R. (1984): Methods in urban climatology. Applied climatologie. - Züricher Geogr. Schriften 14: 19-22.
OKE, T. R. (1988): Street design and urban canopy layer climate. - Energy and buildings 11: 103-113.
OKE, T. R. (1987): Boundary Layer Climates. - 2nd ed., 435 S.
PABST, H. (1982): Wald und Luftverschmutzung. - Allgemeine Forstzeitschrift. 37: 634-636.
PARLOW, E. (1983): Geländeklimatische Untersuchungen im Bereich der Staufener Bucht unter bes. Berücksichtigung lokaler Ausgleichsströmungen. - Freiburger Geogr. Hefte 20, 175 S.
PETERS, B. (1994): Aufnahme und Bewertung von Hindernissen für mikro- und mesoskalige lokale Luftaustauschprozesse. - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 154 S. + Anh.
PRICE, J. P. (1979): Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data. - Monthly Weather Rev. 106, Washington: 1554-1557.
RABE, R. & U. BECKELMANN (1987): Zusammenhänge zwischen der durch Flechten angezeigten Gesamtverunreinigung der Luft und Gesundheitsbeeinträchtigungen des Menschen. - VDI-Berichte 609: 729-753.
REUTER, U., J. BAUMÜLLER & U. HOFFMANN (1991): Luft und Klima als Planungsfaktor im Umweltschutz. - Kontakt und Studium 228, Ehingen, 120 S.
SCHIRMER, H. (1988): Meteorologische Begriffsbestimmung zur Regionalplanung. - Arbeitsmaterial, Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.), Nr. 133, Hannover, 117 S.
SCHWERDTFEGER, G., H. KUNTZE & G. RÖSCHMANN (1988): Bodenkunde. – Stuttgart.
SEEDORF, H. H. & H.-H. MEYER (1992): Landeskunde Niedersachsen. Bd.1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. - Neumünster, 517 S.
SIMON, K. H. (1985): Zur Abschätzung der Spätfrostgefährdung von landwirtschaftlichen Nutzflächen. - Petermanns Geographische Mitteilungen 129: 177-179.
SOCKEL, H. (1984): Windgeschwindigkeit in der Umgebung von Bauwerken (in Aerodynamik der Bauwerke). – Braunschweig.
STADT BOCHUM, OBERSTADTDIREKTOR (Hrsg.) (1991): Klimaanalyse Stadt Bochum. - Bochum, 123 S.
STADT BONN, OBERSTADTDIREKTOR (Hrsg.) (1991): Stadtentwicklungsplanung - Klimagutachten. - Bonn, 141 S. + Anh.
STADT CHEMNITZ - BÜRGERMEISTERAMT / UMWELTAMT (Hrsg.) (1993): Umweltbericht der Stadt Chemnitz. - Chemnitz, 100 S.
STADT MAINZ (Hrsg.) (1995): Umweltbericht 1994, Teil Stadtklima. - Textband, 111 S. + Kartenband, 21 Karten.
STADT MÜNSTER, OBERSTADTDIREKTOR (Hrsg.) (1992): Stadtklima Münster. - Werkstattberichte zum Umweltschutz, H. 1, 247 S.
STANHILL, G. (1969): A simple instrument for field measurement of turbulent diffusion flux. - J. Appl. Meteorol. 8: 509-513.
STATISTISCHES BUNDESAMT (1980): Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs-nennungen und ähnlichen Benennungen. - Wiesbaden.
STOCK, P. & W. BECKRÖGE (1985): Klimaanalyse Stadt Essen. – KVR, Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.), Essen, 123 S.
STÜLPNAGEL, A. v. (1987): Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Beispiel von Berlin. - Diss. am Fachber. 14 Landschaftsentwicklung d. Techn. Univers. Berlin, 173 S. + Anh.
SUKOPP, H. (Hrsg.) (1990): Stadtökologie. - Berlin, 455 S.

TA-LUFT (TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR REINHALTUNG DER LUFT) (1986): 1. BImSchVwV vom 27.02.1986, GMBl., 37. Jahrgang, Nr. 7, S. 95-143.
THÖNI, L., K. PETER, J. HERTZ & H.-G. BÄCHTOLD (1990): Ökologische Planung - Ergebnisse der Fallstudie Bündner Rheintal. - ORL-Berichte (Berichte zur Orts-, Regional- und Landesplanung) 76, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung der ETH Zürich, 163 S.
TRIOPS-BÜROGEMEINSCHAFT FÜR ÖKOLOGISCHE STUDIEN (1991): Geländeklimatisches Gutachten Einbeck - SW, Teil 1 und 2. - Unveröffentliches Gutachten, 25 S. und 41 S.
TÜV RHEINLAND e.V. (1993): Abgas-Emissionsfaktoren von PKW in der BRD für die Bezugsjahre 1986 bis 1990. - Im Auftrag des UBA, Köln und Berlin.
TÜV HANNOVER/SACHSEN-ANHALT e. V. (1994): Neuere Immissionsuntersuchungen in Niedersachsen. - Schriftl. Mitteilung.
TÜV RHEINLAND e. V. (1995): Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der BRD für die Bezugsjahre 1986 bis 1990. - Im Auftrag des UBA, Köln und Berlin.
TÜXEN, R. & H. DIEMONT (1937): Klimaxgruppe und Klimaxschwarm. - In: Naturhistorische Gesellschaft zu Hannover: Festschrift zur 140-Jahrfeier der Gründung der Gesellschaft, Jahresbericht 88 und 89: 73-77.
UBA - UMWELTBUNDESAMT (1983): Das Abgas-Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der BRD im Bezugsjahr 1980. - Berichte 11/83, Berlin.
UBA - UMWELTBUNDESAMT (1987): Das Abgas-Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der BRD im Bezugsjahr 1985. - Berichte 07/87, Berlin.
UBA - UMWELTBUNDESAMT (1997): Maßnahmenorientiertes Berechnungsinstrumentarium für die lokalen Schadstoffemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs. - FE 10506044, Berlin.
UHLIG, S. (1954): Beispiel einer kleinklimatologischen Geländeuntersuchung. - Zeitschr. für Meteorologie 8: 66-75.
UVF - UMLANDVERBAND FRANKFURT (Hrsg.) (1993): Umweltvorsorge-Atlas. - Frankfurt a. M., wird laufend erweitert und aktualisiert.
UVF - UMLANDVERBAND FRANKFURT (Hrsg.) (1994): Die Klimafunktionskarte des UVF. -Umweltschutzbericht VI: Klimaschutz, Bd. 3, Frankfurt, 19 S.
VDI-HANDBUCH »REINHALTUNG DER LUFT« - BAND 1: Richtlinie 2310 »Maximale Immissions-Werte-MIK«. – Düsseldorf.
VDI-KRDL (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE - KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT, Hrsg.) (1988): Stadtklima und Luftreinhaltung: Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung. - Berlin/Heidelberg 2. Aufl. 1999, 426 S.
VDI-RICHTLINIE 3786 BL. 2 (1988): Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung. Wind.
VDI-RICHTLINIE 3786 BL.3 (1985): Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung. Lufttemperatur.
VDI-RICHTLINIE 3786 BL.4 (1985): Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung. Luftfeuchte.
VDI-RICHTLINIE 3787 BL. 1 (1997): Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.
VDI-RICHTLINIE 3787 BL. 2 (1996): Umweltmeteorologie - Methoden zur Humanbiometeorologische Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil 1: Klima.
VDI-RICHTLINIE 3789 BL. 2 (1994): Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen - Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung.
VIERTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM BUNDES-IMMISSIONS-SCHUTZGESETZ (4. BImSchVwV) (1975): Ermittlung von Immissionen in Belastungsräumen. 08.04.1975, GMBL., 358 S.
VORMANN, J. (1992): Untersuchungen zu thermisch induzierten Zirkulationssystemen im Stadtgebiet von Hannover. - Unveröffentl. Diplomarbeit der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover, 97 S. + Anh.
WEIBEL, R. (1990): Verarbeitung und Anwendung digitaler Geländemodelle im Bereich der Geographie. - Geographica Helvetica 4: 145-153.
WEISCHET, W. (1982): Der Vorteil einer Baukörperklimatologie für Zwecke der Stadtplanung. - Beiträge der Akad. für Raumforschung und Landesplanung 62: 23-38.
WEISE, A. (1982): Beobachtungen zur Bewegung der nächtlichen Kaltluft im Havelgebiet westlich von Werder. - Naturschutzarbeit in Berlin und Brandenburg 18, H. 1: 13-20.
WERNER, G. (1979): Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. - Schriftenreihe Raumordnung des Bundesminist. f. Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 06.032, Bonn, 116 S.
WERNER, W. & P. PEKLO (1992): Belästigungen durch Gerüche - Feststellung, Bewertung und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung. - In: Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Umweltschutz in Städten - Emissionsminderung, Entsorgung, Energie, Planung. VDI - Berichte 952: 95-110.
WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1998): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung. - Stuttgart, 272 S.
ZIMMERMANN, R. (1984): Klimawirkungen städtischer Freiräume in Ludwigshafen am Rhein. - Mitteilungen POLLICHIA 72: 163-253.
ZIMMERMANN, R.(1988): Zur Ermittlung und Bewertung des Klimas im Rahmen der Landschafts-(rahmen-)planung. - In: LFU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden - Württemberg (Hrsg.). Untersuchungen zur Landschaftsplanung 14, 137 S.

Die Autoren

Prof. Dr. Thomas Mosimann, geboren 1951, Studium der Geographie, Geologie, Mathematik und Zoologie an der Universität Basel. 1976-1988 Hochschulassistent und später Privatdozent an der Universität Basel, seit 1988 Professor für Physische Geographie und Landschaftsökologie und Leiter der gleichnamigen Abteilung an der Universität Hannover. Vielfältige Forschungs- und Gutachtertätigkeit in den Bereichen Landschaftsökologie, Bodenschutz und Klimaökologie sowie Tourismus und Umwelt. Verfasser mehrerer Handbücher für die Praxis, Mitglied des wiss. Beirats des Verbandes der Geographen an Deutschen Hochschulen.

Thorsten Frey (r.) und Peter Trute (l.), beide Diplom-Geographen, gründeten 1996 zusammen mit Dipl.-Geograph Volker Wickenkamp das Büro GEO-NET Umweltplanung und GIS-Consulting GbR in Hannover und sind seitdem selbständig tätig. Die Arbeitsschwerpunkte umfassen u. a. die Erstellung von Klima-/Luftanalysen, nummerische Modellierungen, Entwicklung von GIS-gestützten Fachinformationssystemen u.a. für die Bereiche Klima/Luft, Altlasten, Grünflächen und Landwirtschaft; Luftbild- und GIS-gestützte Datenerhebung unter Einsatz von Geographischen Informationssystemen; GIS-Dienstleistungen für Kommunen und Betriebe. Beide Autoren sind Mitglieder des AK Klima, der AG Klima und Lufthygiene in der UVP und des AK Angewandte Physische Geographie und Landschaftsökologie.

17 Anhang

Tab. A1: Standorte und Messkomponenten der LÜN-Stationen. Auszug aus NLÖ 1999a, Stand Sept. 1999.

Station	Gebiet/Ort	Koordinaten	Charakteristik	Messkomponenten	Beginn
1. Flächenbezogene Messstellen mit Ozonmessplätzen					
HRSW	Hannover	R354870 H580310	Wohnbebauung, 35 m über Str.	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 CO DD FF TT TF PPP G	01.78
RNCC	Weserbergland	R350465 H578304	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	10.88
BGSW	Braunschweig	R360075 H578917	Stadtrand	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 CO DD FF TT TF PPP G	01.78
WGCC	Wolfsburg	R441960 H581258	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	01.88
OGCC	Oker/Harlingerode	R360203 H575298	Wohnbebauung/Industrie	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	05.80
DLSW	Solling	R353996 H573633	Waldstation	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	10.85
BRNN	Wurmberg	R440468 H573672	Waldstation	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	06.91
DUCC	Eichsfeld	R358603 H570887	Stadtrand	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- O_3 CO DD FF TT TF PPP G	10.86
GNCC	Göttingen	R356594 H571338	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB PM_{10} O_3 CO DD FF TT TF PPP G	09.87
ENCC	Ostfriesland	R258040 H591515	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	04.82
NYNO	Ostfriesische Inseln	R257667 H595282	Insel/Nordsee	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	01.98
WNCC	Jadebusen	R343987 H594092	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	06.84
NMCC	Nordenham	R346526 H592932	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 CO DD FF TT TF PPP --	01.78
CXSO	Elbmündung	R348698 H596649	Stadtrand, Elbemündung	--- NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	04.98
JKCC	Altes Land	R354550 H593256	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	02.99
LGOO	Lüneburger Heide	R359728 H590252	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	11.88
LWSO	Wendland	R364569 H586970	Stadtrand	--- NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	04.98
WASS	Allertal	R354208 H585537	Stadtrand	--- NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	04.91
CGCC	Südoldenburg	R343703 H585655	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x STB --- O_3 --- DD FF TT TF PPP G	04.91
OKCC	Osnabrück	R343538 H579172	Stadtrand	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- O_3 CO DD FF TT TF PPP G	10.88
LNCC	Emsland	R258950 H581917	Stadtrand	SO_2 NO NO_2 NO_x --- PM_{10} O_3 --- DD FF TT TF PPP G	10.88
SRCC	Salzgitter/Lebenstedt	R359235 H588042	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- --- --- DD FF --- --- --- --	10.87
2. Verkehrsbezogene Messstellen					
HRVS	Hannover	R354871 H580311	Wohnbebauung/Straßenschluchtt	--- NO NO_2 NO_x --- --- RU CO DD FF TT B T X	07.89
BGVS	Braunschweig	R439937 H579323	Innenstadt/Straßenschlucht	--- NO NO_2 NO_x --- --- RU CO DD FF TT B T X	08.93
HIVT	Hildesheim	R356504 H577993	Innenstadt/Straßenschlucht	--- NO NO_2 NO_x STB PM_{10} RU CO DD FF TT B T X	02.99
HRVU	Hannover	R355113 H580631	Innenstadt/Straßenschlucht	--- NO NO_2 NO_x --- --- RU CO DD FF TT B T X	03.99
HRVV	Hannover	R354999 H580667	Innenstadt/Straßenschlucht	--- NO NO_2 NO_x --- --- RU CO DD FF TT B T X	03.99
3. Ozon-Messstellen Offline					
PGLE	Poppenburg	R355228 H577829	Landwirtschaft	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	08.95
LRVE	Laar	R334700 H583346	Landwirtschaft	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	05.97
LAEL	Lathen	R258791 H586276	Landwirtschaft	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	04.98
SGEL	Schnakenburg	R447120 H587837	Landwirtschaft	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	05.96
REHU	Reithörne	R345491 H590174	Landwirtschaft	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	05.96
CXNO	Cuxhaven	R347348 H597034	Küste/Nordsee	--- NO NO_2 NO_x --- --- O_3 --- DD FF --- --- --- --	05.97
BMNO	Borkum	R254374 H593935	Insel/Nordsee	--- NO NO_3 NO_x --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	05.99
BBEL	Bad Bentheim	R257332 H580190	Landwirtschaft	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	05.99
CAMP	Campen	R256760 H591984	Landwirtschaft/Emsmündung	--- --- --- --- --- --- O_3 --- --- --- --- --- --- --	05.99
5. Ehemalige Messstellen (mit Laufzeit bis mindestens 1993)					
ENNW	Emden/Twixlum	R257546 H591576	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- --- DD FF --- --- --- ---	82-93
WNSO	Wilhelmshav./Heppens	R344324 H593376	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- --- DD FF --- --- --- ---	84-93
BGNW	Braunschweig	R439703 H579370	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	78-94
NMNN	Nordenham/Blexen	R346976 H593272	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- --- DD FF --- --- --- ---	78-94
SNCC	Schladen	R439963 H576698	Stadtrand	SO_2 NO NO_2 NO_x STB O_3 CO DD FF TF TT G PPP	91-94
KRCC	Königslutter	R441953 H579193	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- --- DD FF --- --- --- ---	88-94
OGNW	Oker	R360048 H575416	Wohnbebauung/Industrie	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	80-94
OGOO	Bad Harzburg	R440082 H574946	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB O_3 --- DD FF --- --- --- ---	81-94
HGCC	Herzberg	R359305 H572543	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB O_3 --- DD FF TF TT G PPP	87-94
HICC	Hildesheim	R356569 H578092	Innenstadt/Straßenkreuzung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF TF TT G PPP	91-96
HRCC	Hannover/Innenstadt	R355056 H580600	Innenstadt	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF TF TT G PPP	78-96
HRNW	Hannover/Vinnhorst	R354780 H581034	Stadtrand/Industrie	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	78-96
PECC	Peine	R358505 H579952	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	83-96
PESS	Ilsede/Ölsburg	R358262 H579330	Wohnbebauung	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	83-96
BGCC	Braunschw./Innenstadt	R439967 H579331	Innenstadt	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF TF TT G PPP	78-96
WLCC	Wolfenbüttel	R440024 H578130	Stadtrand	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	84-96
OGNO	Harlingerode	R439848 H575376	Wohnbebauung/Industrie	SO_2 NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF --- --- --- ---	80-96
HRVT	Hannover/Südstadt	R355150 H580394	Innenstadt/Straßenschlucht	--- NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF B T X RU	92-97
OKVS	Osnabrück	R343590 H579295	Innenstadt/Straßenschlucht	--- NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF B T X ---	94-97
MNSS	Hann. Münden	R354594 H569654	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x STB O_3 --- DD FF TF TT PPP	86-98
BTSO	Büddenstedt/Reinsdorf	R443463 H578055	Stadtrand	--- NO NO_2 NO_x STB O_3 --- DD FF TF TT PPP	86-98
LGCC	Lüneburg	R359447 H590199	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x STB O_3 --- DD FF TF TT PPP	88-98
HIVS	Hildesheim	R356569 H578092	Innenstadt/Straße	--- NO NO_2 NO_x STB --- CO DD FF B T X RU	97-98
BECC	Buxtehude	R354680 H592770	Wohnbebauung	--- NO NO_2 NO_x STB O_3 --- DD FF TF TT G PPP	87-99

SO_2 = Schwefeldioxid; NO = Stickstoffmonoxid; NO_2 = Stickstoffdioxod; NO_x = Stickstoffoxide gesamt; STB = Staub; O_3 = Ozon; CO = Kohlenmonoxid; B = Benzol; T = Toluol; X = Xylol; RU = Ruß; PM_{10} = Staub mit PM_{10}-Probenahme; DD = Windrichtung; FF = Windgeschwindigkeit; TT = Temperatur; TF = Relative Feuchte; PPP = Luftdruck; G = Globalstrahlung

Abb. A1: Großräumige Immissionsuntersuchungen in Niedersachsen. – Aus: NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (1992): 143.

Tab. A2: Beispiele von Projekten mit Durchführung von Immissionsmessungen/-programmen des TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V. – Aus TÜV HANNOVER/SACHSEN-ANHALT e.V. (1994).

Auftraggeber	Projektbezeichnung
Bezirksregierung Braunschweig und Bezirksregierung Hannover	Großräumige Immissionsmessprogramme bei Planfeststellungsverfahren von thermischen Abfallbehandlungsanlagen und Genehmigungsverfahren von Großfeuerungsanlagen (u. a. HTV Oker, Pyrolyseanlage Salzgitter, MVA Hameln und Langelsheim)
EWE Oldenburg	Großräumige Immissionsmessungen für Planfeststellungsverfahren einer Sondermüllverbrennungsanlage
BKB Helmstedt	Großräumige Immissionsmessprogramm nach TA-Luft für UVU einer thermischen Restmüllverbrennungsanlage und weiterer thermischer Behandlungsanlagen
Metaleurop Nordenham	Großräumige Immissionsmessprogramm nach TA-Luft für UVU zur Modernisierung einer Bleihütte
Niedersächsisches Umweltministerium	Großräumige Immissionsmessprogramme in mehreren Städten Niedersachsens u. a. Osnabrück, Hameln, Nienburg, Helmstedt
PreussenElektra AG, Hannover	Großräumige Immissionsmessungen bei verschiedenen Genehmigungsverfahren nach BImSchG z. T. mit UVP in Minden und Nienburg
VW Kraftwerk GmbH, Wolfsburg	Großräumige Immissionsmessprogramme bei Genehmigungsverfahren nach BImSchG

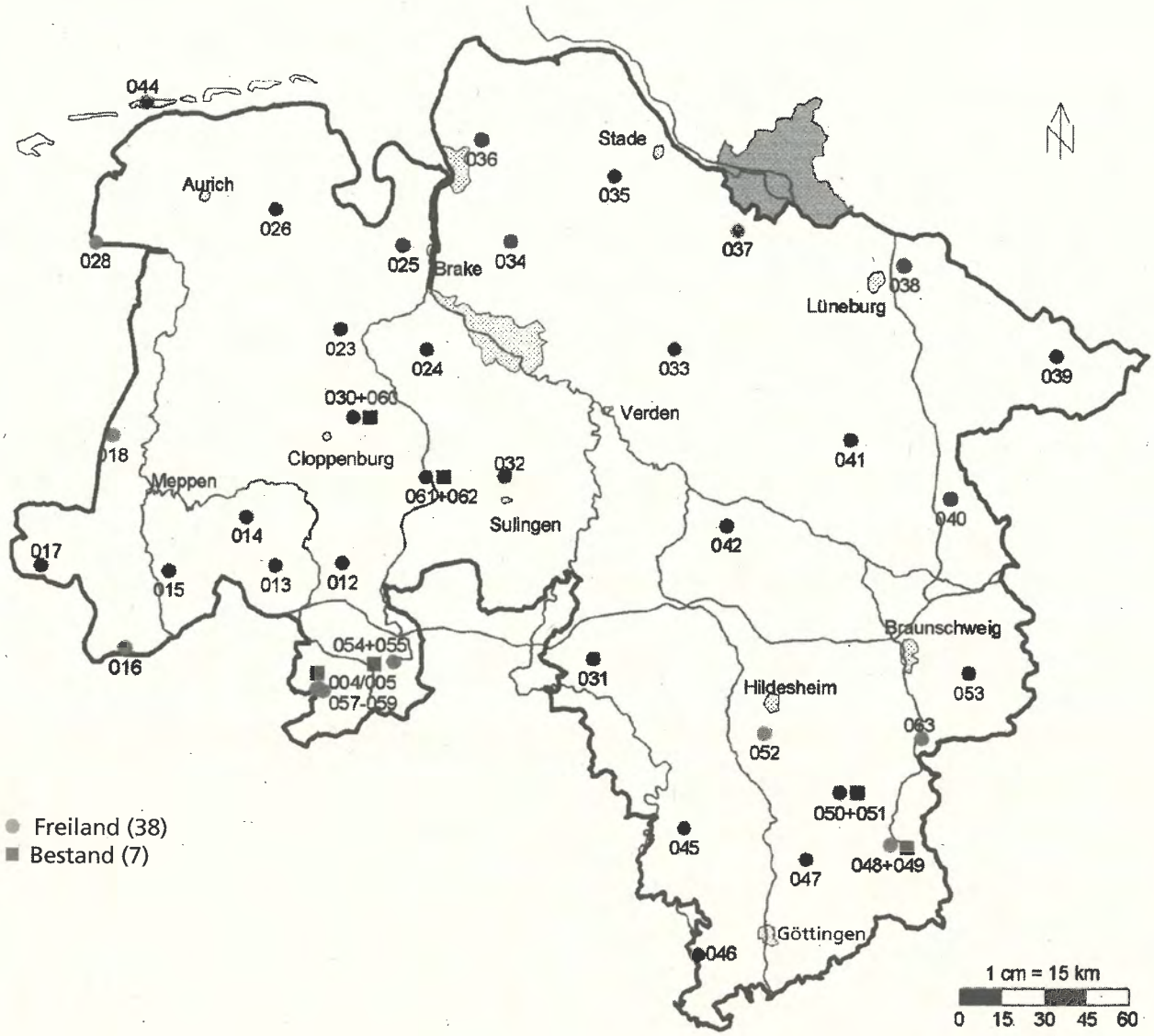


Abb. A2: Lage der Messstellen des GÜN-Depositionsmessnetzes Niedersachsen (Quelle: NLÖ 1999b).

Nr.	Bezeichnung der Messstelle	Art
004/		
005	Bad Iburg/Dörenberg I	Freiland
012	Damme-Harlinghausen	Freiland
013	Trillen-Berg	Freiland
014	Kreuzberg	Freiland
015	Lingen-Baccum	Freiland
016	Bad Bentheim	Freiland
017	Neuenhaus-Itterbeck	Freiland
018	Rütenbrock	Freiland
023	Edewecht	Freiland
024	Hude-Hasbruch	Freiland
025	Ovelgönne-Colmar	Freiland
026	Friedeburg	Freiland
028	Emden-Knock	Freiland
030	Ahlhorn	Freiland
031	Bückeberge	Freiland
032	Schwaförden	Freiland
033	Brockel	Freiland
034	Osterholz-Scharmbeck	Freiland
035	Stade-Mulsum	Freiland
036	Drangstedt	Freiland
037	Stuvenwald	Freiland
038	Scharnebeck	Freiland

Nr.	Bezeichnung der Messstelle	Art
039	Siemen (Lüchow)	Freiland
040	Knesebeck	Freiland
041	Unterlüß	Freiland
042	Berkhof	Freiland
044	Norderney (Flughafen)	Freiland
045	Holzminden-Schießhaus	Freiland
046	Hann.-Münden-Hemeln	Freiland
047	Northeim-Westerhof	Freiland
048	Riefensbeek	Freiland
049	Riefensbeek	Bestand
050	Seesen-Hohestein	Freiland
051	Seesen-Hohestein	Bestand
052	Diekholzen-Petze	Freiland
053	Königslutter (Elm)	Freiland
054	Buer-Ostenwalde, Moseler Berg	Freiland
055	Buer-Ostenwalde, Moseler Berg	Bestand
057	Dörenberg II (Traufe Nord)	Bestand
058	Dörenberg II (Traufe Süd)	Bestand
059	Dörenberg II (Freiland Süd)	Freiland
060	Ahlhorn	Bestand
061	Goldenstedt (Markonah)	Freiland
062	Goldenstedt (Markonah)	Bestand
063	Börßum	Freiland

18 Glossar

Das Verzeichnis beinhaltet ausgewählte, in dieser Arbeit häufig verwendete Fachwörter. Weiterführende Hinweise und/oder Erläuterungen zu hier nicht aufgeführten Begriffen können den Quellen SCHIRMER (1988), VDI-RICHTLINIE 3787 BL. 2 (1996) und H. LESER et al. (1993) entnommen werden.

Ausbreitung: Allgemein geläufig zur Beschreibung des Transports von Luftbeimengungen in der Atmosphäre. Die Ausbreitungssituation ist in erster Linie durch meteorologische Parameter (Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Schichtung) gekennzeichnet. Daneben wirken technische Faktoren (emittierte Schadstoffmenge, Quellhöhe der Emission ...) modifizierend. Der ähnlich gebrauchte Begriff »Transmission« beinhaltet zusätzlich physikalische und chemische Veränderungen der Luftbeimengungen während des Transportvorganges.

Ausgleichsdistanz: Abstand eines potenziellen → Ausgleichraumes zur äußeren Begrenzung eines → Wirkungsraumes. Sie kann als Maß für die → Ausgleichsleistung einer Freifläche im Außenbereich herangezogen werden.

Ausgleichsleistung: Durch lokalen → Luftaustausch bzw. Lufttransport zwischen → Ausgleichs- und → Wirkungsräumen wird eine positive Beeinflussung der lufthygienischen sowie bioklimatischen Verhältnisse erzielt.

Ausgleichsraum: Grüngeprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über wenig raue Strukturen (→ Leitbahnen) verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für den Menschen.

Austauschbarriere: Lineare Bebauungs- bzw. Grünstruktur (Verkehrsbauten, Gehölze und Siedlungsränder) innerhalb einer → Leitbahn bzw. im → Ausgleichsraum oder Übergangsbereich zum → Wirkungsraum. Sie behindert oder unterbindet durch Riegelwirkung den bodennahen → Luftaustausch und beeinflusst damit die klima- und immissionsökologische → Ausgleichsleistung des Ausgleichsraumes negativ.

Austauschhindernis → Austauschbarriere.

Austauschschwach → Luftaustausch.

Austauschstark → Luftaustausch.

Belastungsraum → Wirkungsraum.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf Menschen.

Eindringtiefe: Reichweite einer Kalt- / Frischluftströmung in den → Wirkungsraum hinein, ausgehend vom Bebauungsrand.

Emissionskataster: Beinhaltet Häufigkeit, Andauer sowie Menge der Emissionen in einem Gebiet. Emissionskataster werden für Verwaltungseinheiten bilanziert und/oder räumlich differenziert in Form von Rasterkarten dargestellt (Bezugsfläche: i. d. R. 1 km²-Raster).

Emissionsquelle, Emittent: Technische Anlage, die Emissionen (Abgase) abgibt. Dabei werden punktuelle (Kraft- / Fernheizwerke, Industrie / Gewerbe), flächenhafte (Hausbrand) und lineare (KFZ-Verkehr) Emissionsquellen unterschieden.

Entlastungsraum → Ausgleichsraum.

Flurwind: Thermisch bedingte schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise, aus allen Richtungen in das Zentrum der Überwärmung (meist Innenstadt und/oder Stadtteilzentren) ein.

Grundbelastung: Durch den Ferntransport und regionale → Emittenten bedingte Luftbelastung eines Raumes. Zusammen mit der durch lokale Quellen verursachten Immission charakterisiert sie die Belastungssituation in einem Gebiet. Sie stellt das Maximum der durch lokale → Ausgleichsleistungen und emissionssenkende technische Maßnahmen zu erreichenden Verbesserung der lufthygienischen Situation dar.

Hangwindsystem: Thermisch und orographisch bedingte, lokale Windsysteme, die sich während ansonsten austauschschwacher Strahlungswetterlagen ausbilden. Die unterschiedliche Temperatur- und Druckverteilung zwischen Hang und Tal oder Ebene führt nachts zum Hangabwind und tagsüber zum Hangaufwind.

Immissionsökologie: Analysiert die Wechselwirkungen zwischen Luftbelastungen und »landschaftsbürtigen«, bodennahen atmosphärischen Prozessen (→ Klimaökologie) sowie ihre Steuerung durch allgemeine landschaftliche Strukturgrößen (Relief, Bebauung ...). Zusätzlich werden die Auswirkungen der so modifizierten Immissionsfelder auf den Naturhaushalt untersucht.

Kaltluftabfluss: An wenig rauen Hängen und in Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht über andauern.

Kaltlufteinzugsgebiet: Umfasst alle Kaltluftentstehungsflächen, die einem bestimmten → Wirkungsraum über → Kaltluftabfluss oder → Flurwind zugeordnet sind. Zur Abgrenzung von Kaltlufteinzugsgebieten werden Reliefparameter (Kammlinien ...) und/oder Strukturmerkmale (Dammbauten, riegelartige Bebauungen ...) herangezogen.

Klimafunktionen: Prozesse und Wirkungen in der Landschaft, die das örtliche Klima mitbestimmen und

Belastungen von Organismen durch besondere Klimabedingungen erhöhen oder abbauen.

Klimaökologie: Analysiert den Einfluss von Klimaelementen und des Klimas auf das Landschaftsökosystem und seinen Haushalt, einschließlich von Pflanzen, Tiere und Menschen und ihren Lebensgemeinschaften. Untersucht wird weiterhin die Steuerung der bedeutsamen, bodennahen atmosphärischen Prozesse durch die allgemeinen landschaftlichen Strukturgrößen (Relief, Überbauung ...).

Klima-Michel-Modell: Modellhafte Berechnung des thermischen Wirkungskomplexes einer normierten Idealperson (auch hinsichtlich Aktivität und Bekleidung) basierend auf der Wärmebilanzgleichung und unter Berücksichtigung der solaren und terrestrischen Strahlungsflüsse.

Komfortraum: Vielfältig strukturierte, bewachsene Freiflächen in Nachbarschaft zum Wirkungsraum mit günstigen bioklimatischen und/oder lufthygienischen Bedingungen. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind Immissionsarmut und Klimavielfalt, d. h. es besteht ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten.

Leitbahnen: Linear ausgerichtete, wenig raue Freiflächen, die den lokalen Luftaustausch fördern, insbesondere den Transport von Kalt- / Frischluft aus dem Ausgleichsraum in den Wirkungsraum. Die Leitbahneigenschaften bestimmen, in welchem Umfang eine Ausgleichsleistung erbracht wird.

Luftaustausch: Transport von Luftmassen mit bestimmten Eigenschaften durch turbulente Diffusion. Es werden austauschschwache Situationen mit Windgeschwindigkeiten $\leqq$ 1,5 m/s von austauschstarken mit Windgeschwindigkeiten $\geqq$ 5,5 m/s unterschieden.

Massenstrom: Durch eine Kalt- / Frischluftströmung aus einem → Kaltlufteinzugsgebiet pro Zeiteinheit herausströmendes Luftvolumen.

Rauigkeit: Gibt die durch Bebauungs- und/oder Vegetationsstrukturen hervorgerufene Veränderung des Windfeldes wieder. Als Maß der Rauigkeit fungiert der z_0-Wert, der in Meter angegeben wird.

Reichweite → Eindringtiefe.

Schwüle → Wärmebelastung.

Strahlungswetterlage: Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

Strukturwind: Thermisch bedingte schwache, sehr kleinräumige Ausgleichsströmung. Strukturwind entsteht durch horizontale Temperatur- und Druckgradienten zwischen direkt aneinandergrenzenden, bebauten und vegetationsgeprägten Flächen. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden meist schubweise in die Randbereiche der bebauten Gebiete ein.

Talwindsystem: Thermisch und orographisch bedingtes, lokales Windsystem, das sich in reliefiertem Gelände während ansonsten austauschschwacher → Strahlungswetterlagen ausbildet. Die unterschiedlichen horizontalen Temperatur- und Druckunterschiede führen zur Ausprägung nächtlicher Talabwinde (Bergwinde). Tagsüber bilden sich Talaufwinde (Talwinde) aus.

Ventilationsbahn: Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen den Gradientwind aufnimmt und zur Be- und Durchlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.

Wärmebelastung: Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenes Unbehaglichkeitsempfinden, das durch die Benetzung der Haut hervorgerufen wird. Bei vollständig nasser Haut setzt die Überwärmung des Körpers ein, die bis zum Hitzekollaps führen kann. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

Wärmeinsel: Derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung vor allem abends und nachts eine höhere Lufttemperatur aufweist. Es bilden sich i. d. R. mehrkernige Wärmeinseln in einer Stadt aus. Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 - 1,5 K erhöht.

Wirkungsraum: Bebauter (oder zur Bebauung vorgesehener), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belasteter Raum (Belastungsraum), der an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über wenig raue Strukturen angebunden ist. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt- / Frischluft aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.

NLÖ, Postfach 101062, 31110 Hildesheim
PVSt, Deutsche Post AG, Entgelt bezahlt, H 47446

Impressum

Herausgabe: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ) – Fachbehörde für Naturschutz –
Der »Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen« erscheint unregelmäßig. ISSN 0934-7135.
Abonnement: 30 DM/Jahr. Einzelhefte 5,- DM zzgl. Versandkostenpauschale.
Diese Schrift darf nicht verkauft werden; Nachdruck nur mit Genehmigung des Herausgebers.
Für den sachlichen Inhalt sind die Autorinnen und Autoren verantwortlich.
1. Auflage 1999, 1 – 5.000
Gedruckt auf Recycling-Papier.

Titelbild: Klimafunktionskarte der Landeshauptstadt Schwerin (MOSIMANN et al. 1996) mit Fotobeispielen für Wirkungsraum und Ausgleichsraum (Fotos D. Schupp). - Gestaltung M. Papenberg ©.
Schriftleitung dieser Ausgabe:
Doris Schupp, NLÖ – Abt. Naturschutz –
Anschriften der Autoren:
Prof. Dr. Thomas Mosimann, Geographisches Institut der Universität Hannover, Schneideberg 50, 30167 Hannover.
Thorsten Frey und Peter Trute, GEO-NET, Große Pfahlstraße 5, 30161 Hannover.
Bezug: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie – Abt. Naturschutz –, Postfach 101062, 31110 Hildesheim.
http://www.nloe.de
E-Mail: heinrich.klaholt@nloe.niedersachsen.de